

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE  
Faculté de génie  
Département de génie civil

# VALORISATION DES GRANULATS RECYCLÉS DANS LE BÉTON POUR LES PAVAGES ET TROTTOIRS

Mémoire de maîtrise  
Spécialité : génie civil

Naliatt Karina SANTAMARIA DIAZ

Jury:     Ammar Yahia (directeur)  
             Richard Gagné (rapporteur)  
             Richard Morin (évaluateur)  
             Habib Mesbah (évaluateur)



*À ma mère, à mon frère, à ma tante Martha*





# RÉSUMÉ

Chaque année, 3000 millions de tonnes de déchets sont produits dans les pays de l'Union Européenne, dont 90 millions sont considérés comme dangereux. Seulement en Europe, l'industrie de la construction produit environ 900 millions de tonnes de déchets par année. Par conséquent, ces déchets représentent environ 25% à 30% de tous les déchets produits [Bravo et al., 2015; Eurostat, 2010]. Au Canada, des études ont démontré que près du tiers des 20 millions de tonnes de déchets solides introduits dans les flux de déchets municipaux sont produits par les activités de construction, de rénovation et de démolition [Gouvernement du Canada, 2014]. La quantité de déchets provenant de l'industrie de la construction utilisés comme matériau de remplissage ou jetés illégalement dans la nature a augmenté avec le temps. Cela a conduit à un manque croissant de zones de décharge, en même temps qu'à une augmentation des coûts dans les sites d'enfouissement. Par conséquent, la manutention des déchets est devenue l'un des problèmes environnementaux les plus importants dans les pays développés [Behera et al., 2014; Bravo et al., 2015].

D'un autre côté, l'utilisation de granulats recyclés dans le béton conduit à réduire l'impact environnemental de l'industrie de construction en réduisant les émissions de CO<sub>2</sub> associé à l'extraction des matériaux et en assurant une utilisation rationnelle des ressources naturelles. Par conséquent, l'incorporation de granulats recyclés provenant de la construction réduit son empreinte écologique. Considérant qu'une quantité substantielle des impacts environnementaux de l'utilisation de granulats recyclés vient de leur production et que ces impacts sont associés de manière intrinsèque aux travaux de construction et de démolition, il est possible de conclure que l'utilisation de granulats recyclés dans la production de béton a un effet positif sur l'environnement [Bravo et al., 2015].

Ce document présente le projet de recherche pour la valorisation des granulats recyclés dans les bétons pour des applications de pavages et de trottoirs. L'objectif principal de cette étude est l'évaluation de l'influence du type et de la teneur en granulat recyclé sur les propriétés du béton conventionnel. La formulation du béton basée sur l'analyse de ses propriétés en fonction des paramètres du mélange permet d'optimiser les bétons aux propriétés désirées. Le projet consiste

à réaliser une évaluation de différents pourcentages de remplacement de granulats recyclés fins et gros sur les propriétés du béton en comparaison avec celles du béton formulé avec des granulats naturels.

Dans la première partie de cette étude, la caractérisation individuelle des matériaux a été réalisée, tant au niveau des granulats naturels que des granulats recyclés. Ensuite, plusieurs formulations de béton sont préparées, en remplaçant une partie du granulat naturel gros par des granulats recyclés gros et fins dans différentes proportions. À partir des formulations de ces bétons, certaines propriétés ont été mesurées à l'état frais et durci. Ceci a permis d'établir une comparaison entre les propriétés des bétons étudiés. Avec ces paramètres, les bétons recyclés avec les meilleures performances, comparativement aux bétons témoins, ont été sélectionnés. Après avoir sélectionné les formulations ayant de meilleures propriétés mécaniques, une étude de durabilité a été réalisée sur ces mélanges optimisés, ce qui a permis d'obtenir des informations sur le comportement en termes de durabilité du matériau recyclé utilisé dans cette recherche.

**Mots-clés:** Bétons recyclés, granulats recyclés, durabilité, pavages et trottoirs, optimisation des granulats, propriétés mécaniques.

# REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma gratitude à mon directeur de recherche, le professeur Ammar Yahia, pour son soutien et ses conseils, ceux qui m'ont permis d'accomplir le programme d'expérimentation.

Mes remerciements vont aussi à la Ville de Montréal pour soutenir financièrement ce projet; et de manière particulière à l'ingénieur Richard Morin de cet organisme, qui m'a aidé dans le développement de ce projet avec ses conseils techniques et ses commentaires par rapport à l'acheminement de ma recherche.

Je tiens à remercier tous les membres du Groupe de recherche de béton de l'Université de Sherbrooke, qui m'ont aidé à compléter mon programme de recherche. Je remercie également tous les techniciens et stagiaires pour leur temps et leur aide précieuse.

Enfin, un grand merci à tous les amis et collègues de Sherbrooke pour les expériences passées ensemble durant les années d'études supérieures.



# TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	i
REMERCIEMENTS.....	iii
LISTE DES FIGURES .....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES ACRONYMES.....	xiii
CHAPITRE 1 INTRODUCTION .....	1
1.1 Mise en contexte et problématique.....	1
1.2 Objectifs du projet de recherche.....	2
1.3 Hypothèses liées à la recherche.....	3
1.4 Phases de la recherche et structure de mémoire .....	4
1.4.1 Phase 1 – Caractérisation des matériaux.....	4
1.4.2 Phase 2 - Propriétés mécaniques du béton.....	5
1.4.3 Phase 3 - Durabilité du béton optimisé .....	5
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE .....	1
2.1 Définition et caractéristiques générales des granulats recyclés .....	1
2.2 Propriétés du granulat recyclé.....	3
2.2.1 Densités des granulats.....	3
2.2.2 Absorption.....	3
2.2.3 Perte de masse.....	4
2.2.4 Granulat recyclé fin.....	4
2.3 Propriétés des granulats recyclés en relation avec le béton .....	5
2.3.1 Zone de transition .....	5
2.3.2 Pourcentage optimal du granulat recyclé.....	7
2.4 Propriétés du béton à l'état frais.....	7
2.4.1 Affaissement .....	7
2.4.2 Séquence de malaxage .....	8
2.4.3 Rapport eau/liant et mûrissement.....	9
2.4.4 Additions cimentaires .....	10
2.4.5 Superplastifiant .....	10
2.4.6 Masse volumique .....	11
2.5 Propriétés du béton à l'état durci.....	12
2.5.1 Absorption du béton durci .....	12
2.5.2 Résistance à la compression.....	13
2.5.3 Résistance à la traction.....	14
2.5.4 Module d'élasticité.....	15
2.5.5 Résistance à la flexion .....	15
2.6 Durabilité du béton avec granulats recyclés.....	15
2.6.1 Perméabilité aux ions chlorure.....	16
2.6.2 Résistance aux cycles gel-dégel.....	19
2.6.3 Résistance à l'abrasion.....	21
2.6.4 Carbonatation.....	23
2.6.5 Retrait de séchage .....	25
CHAPITRE 3 PROGRAMME EXPÉRIMENTAL ET PROCÉDURES D'ESSAIS .....	27

3.1	Introduction .....	27
3.2	Phase 1 - Caractérisation des matériaux.....	27
3.3	Phase 2 - Propriétés mécaniques du béton .....	37
3.4	Phase 3 - Durabilité du béton optimisé .....	52
CHAPITRE 4 PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS.....		54
4.1	Introduction .....	54
4.2	Phase 1 - Caractérisation des granulats recyclés.....	54
4.3	Phase 2 - Résultats sur béton : Propriétés à l'état frais et à l'état durci.....	56
4.4	Bétons optimisés .....	71
4.5	Phase 3 - Essais de durabilité .....	72
4.6	Analyse comparative des résultats obtenus .....	82
CHAPITRE 5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....		84
5.1	Conclusions .....	84
5.2	Recommandations .....	88
ANNEXES .....		91
LISTE DES RÉFÉRENCES .....		225

# LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Configuration de granulat recyclé.....	1
Figure 2 - Projet Recyhouse. Vue de la grande salle du rez-de-chaussée, avec la structure portante en béton recyclé (gauche). Vue de la cave, escalier en béton recyclé (droite).....	2
Figure 3 - Vue en coupe du granulat recyclé (gauche) et du granulat naturel (droite).....	5
Figure 4 - Relation entre la micro-dureté Vickers de la vieille zone de transition et la résistance à la compression du béton ( $E/L = 0,25$ ) .....	6
Figure 5 - Micro-dureté Vickers de la nouvelle et vieille zone de transition pour un béton avec un rapport $E/L$ de 0,25 (gauche) et un rapport $E/L$ de 0,55 (droite) .....	7
Figure 6 - Densité plus grande dans la zone de transition du malaxage en deux étapes (gauche) et densité plus pauvre dans la zone de transition du malaxage conventionnel (droite).....	9
Figure 7 – Masse volumique à l'état frais du béton en fonction de différents pourcentages et types de granulat recyclé .....	12
Figure 8 - Coefficients de diffusion de béton avec granulats recyclés (RAC) et béton avec granulats naturels pour différentes études.....	16
Figure 9 - Variation du rapport de pénétration des ions chlorure avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés pour différentes études.....	17
Figure 10 - Relation entre la variation du coefficient de migration des ions chlorure et le pourcentage de remplacement de granulat recyclé fin .....	18
Figure 11 - Profondeur de pénétration de l'eau en fonction du rapport $E/C$ pour différents grades de substitution de granulat recyclé à 365 jours d'âge .....	19
Figure 12 - Variation du paramètre relative de la résistance aux cycles gel-dégel avec le remplacement de granulat recyclé dans le béton. Évaluation de différentes études	20
Figure 13 - Pourcentage de perte de masse pour des échantillons soumis à cycles gel-dégel..	21
Figure 14 - Profondeur d'abrasion relative ou perte de masse vs remplacement de granulat recyclé .....	22
Figure 15 - Variation relative de la profondeur de carbonatation avec le remplacement de granulat recyclé pour différentes études.....	23
Figure 16 - Variation de la profondeur de carbonatation avec le taux de remplacement de granulat naturel fin par granulat recyclé fin .....	24
Figure 17 – Variation du taux de carbonatation avec le rapport $E/C$ pour différents pourcentages de substitution de granulat recyclé .....	25
Figure 18 – Variation du retrait de séchage relatif avec le pourcentage de remplacement de granulat recyclé pour différents études .....	26
Figure 19 - Granulat recyclé avec béton de ciment (gauche) et gros granulat naturel (droite)	28
Figure 20 - Granulat recyclé avec béton bitumineux (gauche) et granulat recyclé avec béton de ciment (droite) .....	28
Figure 21 - Courbes granulométriques des granulats utilisés-gros granulat naturel 5 – 14 mm.....	30
Figure 22 - Courbes granulométriques des granulats utilisés – gros granulat naturel 5-20 mm.....	31
Figure 23 - Courbes granulométriques des granulats utilisés – gros granulat naturel 2,5-10 mm.....	32

Figure 24 - Courbes granulométriques du sable pour les mélanges avec granulat recyclé BA-31,5 mm.....	34
Figure 25 - Courbe granulométrique du sable mélangé avec les granulats recyclés RB-28 mm.....	35
Figure 26 - Optimisation Fuller Thompson pour 0% de granulat recyclé – béton témoin .....	38
Figure 27 - Optimisation Fuller Thompson pour 10% de granulat recyclé BA-31,5 mm .....	39
Figure 28 - Optimisation Fuller Thompson pour 20% de granulat recyclé BA-31,5 mm .....	39
Figure 29 - Optimisation Fuller Thompson pour 35% de granulat recyclé BA-31,5 mm .....	40
Figure 30 - Optimisation Fuller Thompson pour 50% de granulat recyclé BA-31,5 mm .....	40
Figure 31 - Optimisation Fuller Thompson pour 75% de granulat recyclé BA-31,5 mm .....	41
Figure 32 - Optimisation Fuller Thompson pour 100% de granulat recyclé RA-31,5 mm .....	41
Figure 33 - Optimisation Fuller Thompson pour 10% de granulat recyclé RB-28 mm .....	42
Figure 34 - Optimisation Fuller Thompson pour 20% de granulat recyclé RB-28 mm .....	42
Figure 35 - Optimisation Fuller Thompson pour 35% de granulat recyclé RB-28 mm .....	43
Figure 36 - Optimisation Fuller Thompson pour 50% de granulat recyclé RB-28 mm .....	43
Figure 37 - Optimisation Fuller Thompson pour 75% de granulat recyclé RB-28 mm .....	44
Figure 38 - Optimisation Fuller Thompson pour 100% de granulat recyclé RB-28 mm .....	44
Figure 39 - Configuration générale d'essai à la compression.....	49
Figure 40 - Rature d'échantillon après l'essai à la compression .....	49
Figure 41 - Échantillon après l'essai à la traction.....	49
Figure 42 - Rature d'échantillon après l'essai à la flexion .....	49
Figure 43 - Masse volumique du béton frais en fonction du taux du pourcentage des granulats recyclés de 31,5 mm.....	57
Figure 44 - Masse volumique du béton frais en fonction du pourcentage des granulats recyclés de 28 mm .....	58
Figure 45 - Masse volumique du béton contenant 35% des granulats recyclés de 28 mm – états saturé et non saturé.....	59
Figure 46 - Variation de la résistance à la compression avec le taux de remplacement des granulats recyclés de 31,5 mm .....	60
Figure 47 - Variation de la résistance à la compression avec le taux de remplacement des granulats recyclés de 28 mm .....	60
Figure 48 - Variation de la résistance à la traction avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés de 31,5 mm .....	62
Figure 49 - Variation de la résistance à la traction avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés de 28 mm .....	62
Figure 50 - Variation de la résistance à la flexion avec le pourcentage des granulats recyclés de 31,5 mm .....	63
Figure 51 - Variation de la résistance à la flexion avec le pourcentage des granulats recyclés de 28 mm .....	64
Figure 52 - Variation de la résistance à la compression avec l'âge du béton proportionné avec 35% des granulats recyclés de 28 mm dans des conditions saturée et non saturée..	65
Figure 53 - Variation de la résistance à la traction avec l'âge du béton proportionné avec 35% des granulats recyclés de 28 mm dans des conditions saturées et non saturées.....	65
Figure 54 - Variation de la résistance à la flexion avec l'âge du béton proportionné avec 35% des granulats recyclés de 28 mm dans des conditions saturées et non saturées.....	66
Figure 55 - Variation de la résistance à la compression avec l'âge du béton formulé avec 20% des granulats recyclés et différents rapports E/L.....	67



Figure 56 - Variation de la résistance à la compression avec l'âge du béton formulé avec 75% des granulats recyclés et différents rapports E/L.....	67
Figure 57 - Variation de la résistance à la compression avec l'âge du béton proportionné avec 35% des granulats recyclés et différentes teneurs en particules fines recyclées.....	68
Figure 58 - Variation de la résistance à la compression avec l'âge du béton proportionnée avec 50% des granulats recyclés et différentes teneur en particules fines recyclées.....	68
Figure 59 - Variation du module d'élasticité avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés de 31,5 mm .....	70
Figure 60 - Variation du module d'élasticité avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés de 28 m .....	70
Figure 61 - Variation du module d'élasticité avec l'âge du béton proportionnée avec 35% des granulats recyclés de 28 mm en conditions saturée et non saturée .....	71
Figure 62 - Profil de carbonatation en fonction de la période d'exposition pour le béton mûri pendant 28 jours .....	73
Figure 63 - Profil de carbonatation en fonction de la période d'exposition du béton témoin mûri pendant 56 jours.....	74
Figure 64 - Profondeur d'abrasion (en millième de pouce ou mils) en fonction du temps d'essai pour les trois bétons évalués.....	75
Figure 65 - Perméabilité aux ions chlorure des différents types de béton étudiés.....	77
Figure 66 - Changement de longueur pour les différents bétons évalués .....	78
Figure 67 - Résidus de surface mesurés sur les bétons étudiés- essais d'ecaillage.....	80



# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Classification des matériaux recyclés selon le MTQ (Norme liée: NQ2560-600) ..	1
Tableau 2 - Absorption de l'eau pour bétons contenant les granulats recyclés .....	13
Tableau 3 - Classification des matériaux recyclés selon le MTQ - (NQ2560-600).....	28
Tableau 4 - Normes des essais de caractérisation des granulats recyclés.....	29
Tableau 5 - Granulométrie moyenne du granulat naturel 5-14 mm.....	31
Tableau 6 - Granulométrie moyenne du granulat naturel 2,5-10 et 5-20 mm .....	33
Tableau 7 - Granulométrie moyenne du sable mélangé avec les granulat recyclés BA-31,5 mm .....	35
Tableau 8 - Granulométrie moyenne pour le sable mélangé avec les granulats recyclés RB-28 mm .....	36
Tableau 9 - Densités et absorption des granulats naturels .....	36
Tableau 10 - Formulation des bétons de pavages et trottoirs utilisé par la Ville de Montréal .	37
Tableau 11 - Séquence de malaxage suivie pour les bétons .....	45
Tableau 12 - Quantités calculées pour le béton avec 35% de granulats recyclés (granulat RB- 28 mm) .....	47
Tableau 13 - Essais mécaniques réalisés et nombre d'échantillons utilisés .....	48
Tableau 14 - Corps d'épreuves des bétons avec granulats recyclés .....	50
Tableau 15 - Essais de durabilité – période d'exposition dans la chambre carbonatée et nombre d'échantillons évalués.....	53
Tableau 16 - Essais de durabilité des bétons optimisés .....	53
Tableau 17 - Propriétés des granulats recyclés utilisés.....	55
Tableau 18 - Type de granulat recyclé utilisé.....	55
Tableau 19 - Propriétés à l'état frais des bétons .....	56
Tableau 20 - Profondeurs de carbonatation (en mm) pour les bétons évalués .....	74
Tableau 21 - Perméabilité aux ions chlorure des bétons étudiés .....	76
Tableau 22 - Changement de longueur pour les bétons optimisés et le béton témoin. Valeurs prises entre 8 semaines et 20 semaines d'âge du béton .....	78
Tableau 23 - Valeurs de résidus et qualification visuelle de la surface des échantillons après les essais d'écaillage .....	79
Tableau 24 - Nombre de cycles et facteur de durabilité pour les essais de gel-dégel des différents bétons.....	81
Tableau 25 - Variation de masse et déformation pour les tests gel-dégel des différents bétons .....	81



# LISTE DES ACRONYMES

Acronyme	Définition
GR	Granulat recyclé
GN	Granulat naturel
MTQ	Ministères des Transports du Québec
ASTM	American Society for Testing and Materials
ITZ	Zone de transition interfaciale
BA-31,5 mm	Granulat recyclé Bauval de 31,5 mm
RB-28 mm	Granulat recyclé Recy Béton de 28 mm
E/L	Rapport Eau/Liant



# CHAPITRE 1 INTRODUCTION

## 1.1 Mise en contexte et problématique

En raison de problèmes environnementaux liés à la gestion des déchets provenant de différentes industries au cours des dernières années, il devient de plus en plus nécessaire de rechercher des nouvelles techniques permettant l'inclusion de matériaux anciens dans la fabrication de nouveaux éléments, en cherchant à avoir une performance similaire à celle obtenue par le matériau original.

Dans le cadre de la réutilisation des matériaux, l'inclusion des déchets de construction dans la conception de nouvelles formulations de béton apparaît comme une alternative prometteuse pour aider à atténuer les problèmes associés aux effets suivants : 1) le recyclage des matériaux de démolition d'anciennes structures civiles, 2) la manque des granulats naturels pour béton dans les grands centres urbains, 3) l'empreinte écologique associée aux travaux de construction et la production de granulats naturels dans les carrières, 4) la possible réduction de coûts de construction liés à la production des bétons avec de nouvelles matières premières, et 5) la disposition de résidus et débris provenant de l'industrie de la construction dans sites d'enfouissement.

Bien que l'utilisation de granulats recyclés dans le béton présente plusieurs avantages, il existe actuellement des facteurs techniques qui limitent l'utilisation massive de ce matériau pour l'élaboration de nouveaux bétons. Des études montrent que la forte porosité et l'absorption du granulat recyclé modifient de manière significative les propriétés du béton. De même, la zone située entre le granulat recyclé et la nouvelle pâte de ciment qui entoure les granulats présente deux zones de transition, ce qui peut modifier de manière significative les propriétés mécaniques et de durabilité du béton obtenu. L'un de ces endroits est la zone de transition entre l'agrégat naturel d'origine et le mortier résiduel attaché au granulat, qui provient de la structure initiale. Le deuxième endroit est la zone de transition entre le mortier résiduel qui recouvre le granulat naturel et le nouveau mortier qui entoure le granulat recyclé. Ces facteurs signifient que certaines modifications doivent être apportées à la formulation et à l'obtention de nouveaux

bétons, de telle sorte que les effets provoqués par l'inclusion du matériau recyclé dans le mélange puissent être significativement atténués.

Ce document présente les résultats obtenus à partir de l'évaluation de différents bétons réalisés avec des granulats recyclés et l'impact de l'inclusion de ce matériau sur les principales propriétés mécaniques et la durabilité de nouveaux bétons.

## **1.2 Objectifs du projet de recherche**

L'objectif principal de cette étude est de valoriser l'utilisation des granulats recyclés dans le béton conventionnel destiné pour les pavages et trottoirs et de générer des données sur les propriétés du béton avec granulats recyclés. Le béton étudié a les spécifications établies par La Ville de Montréal et est destiné pour la construction des trottoirs. Cette institution a fourni les spécifications techniques pour la formulation du mélange témoin dans lequel on a effectué un remplacement d'une partie des granulats naturels par des granulats recyclés.

Les propriétés à l'état frais et durci du béton avec granulats recyclés sont évaluées. Ceci nous permettra de déterminer la conformité du béton avec granulats recyclés à la réglementation de construction en vigueur. Les bétons sont formulés pour réduire d'une manière considérable les teneurs en granulats naturels, tout en préservant les propriétés du béton, notamment les propriétés mécaniques et la durabilité.

Les paramètres de cette étude sont: le taux de remplacement des granulats naturels par les granulats recyclés (0%, 10%, 20%, 35%, 50%, 75%, 100%), la provenance des granulats recyclés de type MR-2 (Bauval de 31,5 mm de taille maximale nominale et Recy Béton de 28 mm de taille maximale nominale) et la séquence de malaxage utilisés (malaxage en deux étapes et utilisation des granulats recyclés saturés). Les formulations de béton sont proportionnées avec un rapport Eau/Liant (E/L) de 0,45 et une quantité totale de gros granulats de 1010 kg/m<sup>3</sup> de béton. On détermine principalement les résistances mécaniques et la durabilité des bétons avec granulats recyclés et le béton de référence. De plus, on fait la caractérisation complète des propriétés de matériaux individuels utilisés dans la confection du béton.



L'analyse des résultats des essais effectués, permettra d'établir la performance du béton contenant des granulats recyclés, et évaluer la possibilité de diminuer la demande en pâte nécessaire, sans affecter de manière significative les propriétés du béton. De cette façon, on peut réduire les coûts de construction et l'empreinte environnementale du béton.

Les objectifs spécifiques associés à cette étude sont:

- Développer un mélange optimal à partir de l'analyse de différents pourcentages de remplacement de granulat recyclé, ayant les propriétés physiques à l'état frais et durci similaires à celles du béton témoin. Le critère pour l'obtention de ce mélange optimal est basé sur l'évaluation des propriétés du béton à l'état frais et ses propriétés mécaniques à l'état durci.
- Évaluer la durabilité des bétons avec granulats recyclés optimisés pour pouvoir analyser leur comportement par rapport aux agents agressifs qui peuvent endommager le béton pendant sa vie utile.
- Caractériser de manière individuelle les composants du béton pour identifier les propriétés les plus importantes de chaque matériau, qui peuvent avoir une influence significative sur les caractéristiques à l'état frais et durci du béton contenant des granulats recyclés.

### **1.3 Hypothèses liées à la recherche**

La principale hypothèse associée à cette recherche est l'obtention d'un béton avec des granulats recyclés pour la construction des pavages et trottoirs et qui répond aux normes appropriées en termes du comportement mécanique et de durabilité. Pour faire face aux problèmes qui peuvent survenir suite à l'utilisation des granulats recyclés, on compte sur l'usage des adjuvants en différentes proportions, la séquence de malaxage plus appropriée et l'obtention du pourcentage optimal de granulat recyclé dans le mélange.

Selon la théorie du béton élaboré, les hypothèses additionnelles liées à ces recherches sont les suivantes:

- On a besoin de plus de pâte (ciment, eau, adjuvants et matériaux cimentaires) en comparaison avec le béton conventionnel, pour satisfaire les exigences en termes de maniabilité du béton avec granulats recyclés.
- On doit garantir une couche de mortier (pâte et sable) autour des granulats recyclés pour assurer des propriétés satisfaisantes à l'état frais et à l'état durci.
- On doit garantir une nouvelle zone de transition résistante pour minimiser les effets du mortier résiduel attaché au granulat naturel d'origine.
- La variation de la séquence de malaxage, spécialement la séquence d'introduction et la disponibilité de l'eau de gâchage, permet de varier de manière très importante les effets sur la qualité de la zone de transition du béton avec granulats recyclés.
- Les granulats recyclés ont une plus grande absorption d'eau dans le béton. Cet effet a des conséquences directes sur le mûrissement interne du béton.
- L'utilisation des granulats recyclés dans le béton a un effet significatif sur les résistances mécaniques obtenues.

## **1.4 Phases de la recherche et structure de mémoire**

### **1.4.1 Phase 1 – Caractérisation des matériaux**

Dans la première étape de cette étude, il était nécessaire de faire une caractérisation complète de tous les matériaux utilisés pour la préparation des mélanges au laboratoire. Plusieurs essais de caractérisation sont réalisés pour évaluer les propriétés des granulats naturels et des granulats recyclés. Les essais effectués dans cette phase se résument en ce qui suit:

- L'analyse granulométrique des granulats étudiés.
- La densité, l'absorption et l'humidité.
- L'essai de résistance à l'abrasion.
- L'évaluation de la vitesse d'absorption des granulats recyclés.

- Le pourcentage de mortier résiduel.

### **1.4.2 Phase 2 - Propriétés mécaniques du béton**

Après l'étape de caractérisation de matériaux et en tenant compte de toute l'information recueillie suite aux essais sur les granulats, une évaluation des propriétés à l'état frais et durci du béton est réalisée. Les paramètres établis pour l'étude sont: provenance du granulat recyclé (Bauval de 31,5 mm et Recy Béton de 28 mm), le pourcentage de remplacement des granulats recyclés (0%, 10%, 20%, 35%, 50%, 75%, 100%) et la séquence de malaxage utilisée (malaxage en deux étapes et avec granulats recyclés saturés).

Dans cette phase, les mélanges de béton sont réalisés avec les différents pourcentages de granulats recyclés. Les propriétés mécaniques des formulations des bétons étudiés sont déterminées. Pour le béton à l'état frais, l'essai d'affaissement, la teneur en air, la masse volumique et la température sont déterminées. Dans le cas du béton durci, la résistance à la compression, à la traction, à la flexion et le module d'élasticité sont également déterminés.

### **1.4.3 Phase 3 - Durabilité du béton optimisé**

Une fois la Phase 2 de l'étude terminée et en prenant en compte les résultats des essais réalisés sur le béton à l'état durci, on a procédé au choix des bétons ayant les meilleures performances mécaniques, pour réaliser les essais de durabilité.

En effet, après avoir choisi les mélanges optimaux et le pourcentage le plus approprié de granulats recyclés, on a procédé à une évaluation de la durabilité des bétons avec granulats recyclés optimisés, pour pouvoir valider leur performance vis-à-vis des phénomènes qui causent la détérioration. Notamment les essais suivants sont réalisés dans cette phase:

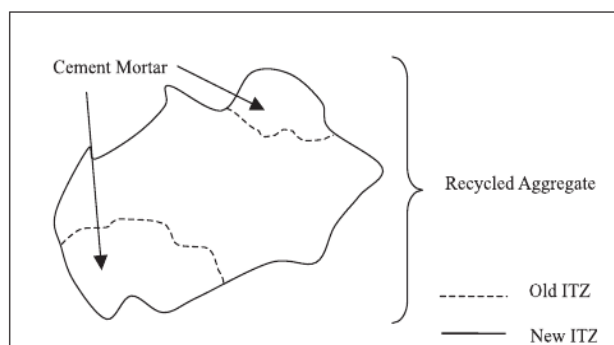
- La résistance à la carbonatation,
- La résistance à l'abrasion,
- La perméabilité aux ions chlorure,
- Le changement de longueur du béton durci,
- La résistance à l'écaillage,
- La résistance aux cycles de gel/dégel



## CHAPITRE 2 REVUE DE LITTERATURE

### 2.1 Définition et caractéristiques générales des granulats recyclés

Le granulat recyclé est un matériau provenant du recyclage de débris de démolition, qui est le résultat du concassage du béton d'anciennes structures civiles. Le granulat recyclé est formé à partir du granulat d'origine et d'une couche de mortier résiduel qui est autour du granulat d'origine. L'interaction entre ces deux phases joue un rôle très important dans la qualité du béton formé à partir de granulats recyclés [Boulay, 2014; Etxeberria et al., 2007]. La Figure 1 montre la configuration générale d'un granulat recyclé [Boulay, 2014; Vivian W.Y. Tam et al., 2005].



**Figure 1 - Configuration de granulat recyclé**  
[Boulay, 2014; Vivian W.Y. Tam et al., 2005]

La Direction du Laboratoire des Chaussées du Ministère des Transports du Québec présente dans son bulletin d'Information Technique No. 3 [Marquis et al., 1998] une classification des granulats recyclés en fonction de la quantité de béton de ciment concassé (% b.c.), de béton bitumineux concassé (% b.b.) et de granulat conventionnel ou granulat original (% g.c.) (Tableau 1).

**Tableau 1 - Classification des matériaux recyclés selon le MTQ (Norme liée: NQ2560-600)**

[Marquis et al., 1998]

Classes	MR-1	MR-2	MR-3	MR-4	MR-5	MR-6	MR-7
% b.c.	≤ 50 %	> 50 %	≤ 30 %	> 30 %	< 65 %	< 50 %	< 15 %
% b.b.	≤ 15 %	≤ 15 %	15 - 35 %	15 - 35 %	35 - 50 %	50 - 85 %	> 85 %
% g.c.	≥ 35 %	< 50 %	35 - 85 %	< 55 %	< 65 %	< 50 %	< 15 %

En tenant compte de cette classification, deux types de granulat MR-2 provenant de deux différents lieux de production de débris, localisés dans la province de Québec, sont utilisés : les granulats provenant de Bauval et les granulats de RecyBéton (Montréal).

La Figure 2 montre les applications de béton faites à partir de granulats recyclés dans le cadre du projet Recyhouse [De Pauw, 2002]. Ce projet cherche à utiliser divers matériaux recyclés dans la construction de tous les éléments d'une maison.



**Figure 2 - Projet Recyhouse. Vue de la grande salle du rez-de-chaussée, avec la structure portante en béton recyclé (gauche). Vue de la cave, escalier en béton recyclé (droite)**  
[De Pauw, 2002]

L'utilisation des granulats recyclés devient un sujet très important à prendre en compte pour les projets de construction futurs, dans lesquels les aspects environnementaux vont jouer un rôle important. Dans une enquête réalisée aux États Unis [AASHTO - Iowa, 2011] sur l'usage des granulats recyclé pour les pavages, 33% des états ont montré de l'intérêt à utiliser de manière fréquente des granulats recyclés dans le béton. D'autre part, 41% des états consultés ont déjà de l'expérience avec l'usage de ces granulats dans des projets spécifiques. Ils ont rapporté que les principaux problèmes auxquels ils ont fait face sont le manque de pratique pour l'usage de ce matériau, des problèmes de retrait, une absorption élevée en eau, une fluctuation dans la demande d'eau et la consistance du mélange quand la partie des fins est ajoutée. Le facteur très positif qui découle de l'utilisation de ces granulats est l'obtention d'économies importantes d'investissement avec ces matériaux. Par ailleurs, dans les états consultés, 79% ne croient pas que les résistances mécaniques requises pour le béton limitent l'usage des granulats recyclés,

alors que 25% croient que l'obtention de crédits environnementaux ou la réduction d'impôts peuvent stimuler l'usage des granulats recyclés dans l'industrie de la construction. Ces résultats prouvent le besoin de faire plus de recherche à ce sujet en Amérique du Nord.

## **2.2 Propriétés du granulat recyclé**

Sur la base de la littérature consultée et de l'information disponible qui a été recueillie, les variables les plus importantes qui influencent en grande partie le comportement du béton recyclé, sont présentées dans les sections suivantes.

### **2.2.1 Densités des granulats**

Plusieurs recherches reportent une diminution de la densité des granulats recyclés par rapport au granulat conventionnel, ce qui a un effet direct sur la densité du béton contenant ce type de granulats. La diminution de la densité est attribuable au mortier résiduel attaché au granulat d'origine [César Medina et al., 2014; González-Fonteboa et al., 2008]. Les résultats montrent que les granulats recyclés sont moins denses que les gros granulats naturels de 4,67% pour le granulat recyclé sans particules de faible densité (par exemple bois) et de 3,87% pour les granulats recyclés avec particules de faible densité [César Medina et al., 2014]. La densité relative des granulats recyclés est généralement dans la plage de 2,4 à 2,5 (2400 à 2500 kg/m<sup>3</sup>) tandis que les granulats naturels ont une densité d'environ 2,75 (2750 kg/m<sup>3</sup>) [Boulay, 2014]. L'analyse de 19 différents types de granulats recyclés, montrent une plage de densité de 2,22 à 2,58 pour ce type de matériau [Agrela et al., 2011].

### **2.2.2 Absorption**

Dans toutes les études consultées, l'absorption des granulats recyclés est beaucoup plus grande que celle des granulats naturels. Les valeurs d'absorption des granulats recyclés sont comprises entre 3% et 10%, alors que pour le granulat naturel cette propriété est entre 1% et 5% [Boulay, 2014; Vivian W Y Tam et al., 2008]. Les granulats recyclés avec ou sans particules de faible densité (par exemple bois) ont une absorption avec 1,63 et 1,68 fois plus d'eau que pour le granulat naturel, en raison de la porosité élevée du mortier résiduel [César Medina et al., 2014; Etxeberria et al., 2007]. [Agrela et al., 2011] ont rapporté des valeurs d'absorption dans la gamme de 2,10 % à 8,79% pour différents types de granulats recyclés.

### 2.2.3 Perte de masse

En général, en raison de la configuration du granulats recyclé, la perte de masse due à l'abrasion est plus grande pour celui-ci par rapport au granulats naturel. [César Medina et al., 2014] ont également montré que les granulats naturels ont une plus résistance au concassage que le matériau recyclé mixte (avec ou sans particules en suspension). La perte de masse était de 21,12 et 20,58% inférieure dans le gravier naturel que dans le granulats recyclé avec et sans particules flottantes [Zakaria et al., 1996]. Des valeurs similaires ont été obtenues par [Saravana Kumar et al., 2012] et [Butler et al., 2011] (17,77% et 23,1% pour les granulats recyclés avec et sans particules en suspension). La teneur en mortier résiduel est donc directement liée à la résistance à l'abrasion du granulats [Boulay, 2014; De Juan et al., 2009].

### 2.2.4 Granulats recyclés fins

En termes d'utilisation des granulats recyclés dans la production de nouveau béton, il est établi que seul le remplacement d'une partie des gros granulats ne modifie pas significativement les propriétés du béton. Cependant, il n'y a pas de consensus concernant le remplacement des granulats fins. Le principal facteur mentionné par certains chercheurs contre l'utilisation de la partie fine des granulats recyclés est son absorption d'eau élevée, ce qui peut conduire à un béton avec de moins bonnes performances à l'état frais. Néanmoins, certaines recherches indiquent que l'utilisation de la partie fine des granulats recyclés peut être viable, si la quantité utilisée ne conduit pas à une perte importante de ses propriétés, tant mécaniques [Bravo et al., 2015; Evangelista et al., 2010] que de durabilité [Evangelista et al., 2014].

[Evangelista et al., 2007] ont analysé la résistance à la compression de divers mélanges de béton contenant la partie fine des granulats recyclés et ils ont trouvé des valeurs semblables à celle du béton de référence (60 MPa). Ils justifient ces bons résultats par la présence de ciment non hydraté dans les fines provenant du granulats recyclé, et ils justifient la meilleure adhérence entre la pâte de ciment et le granulats fin recyclé, à cause de sa plus grande porosité [Bravo et al., 2015].

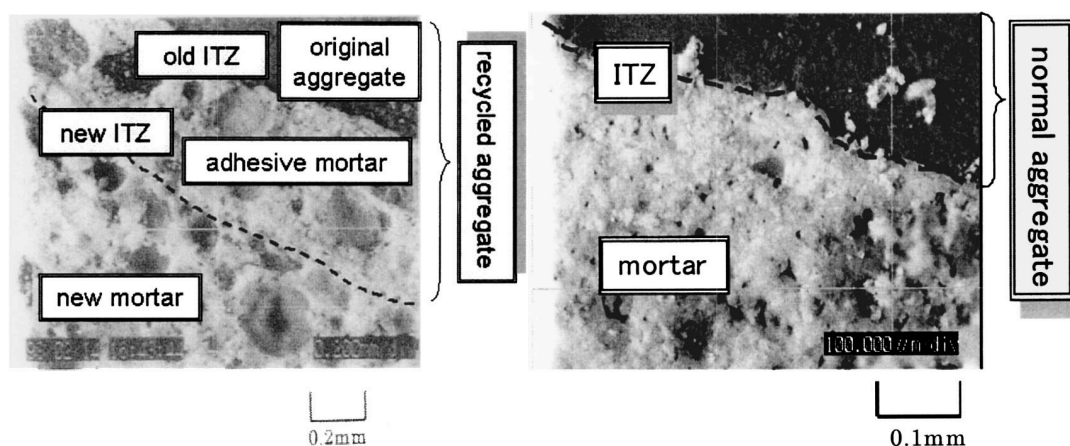


Par contre, [Bravo et al., 2015] ont obtenu une augmentation significative dans le rapport E/L pour les mélanges contenant des fins recyclés. Ces fines particules absorbent une grande quantité d'eau, forçant une augmentation du rapport E/L afin de maintenir l'affaissement approprié [Bravo et al., 2015]. Cette augmentation d'eau cause alors une diminution dans les propriétés mécaniques du béton.

## 2.3 Propriétés des granulats recyclés en relation avec le béton

### 2.3.1 Zone de transition

En particulier dans le béton de granulat recyclé, il y a plus d'une zone de transition par rapport au béton de granulat naturel. La Figure 3 (gauche) montre une vue en coupe d'un granulat recyclé. Cette figure indique la vieille zone de transition entre le granulat d'origine et le mortier résiduel, ainsi que la zone de transition entre le mortier résiduel et la nouvelle matrice de mortier. Par ailleurs, la Figure 3 (droite) présente aussi la zone de transition pour un granulat naturel conventionnel. La configuration dans ce cas ne dispose que d'une seule zone de transition entre le granulat et le nouveau mortier [Otsuki et al., 2003].

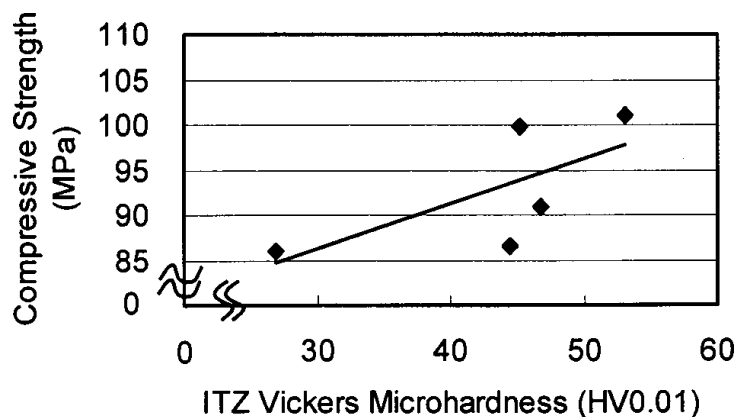


**Figure 3 - Vue en coupe du granulat recyclé (gauche) et du granulat naturel (droite)**  
[Otsuki et al., 2003]

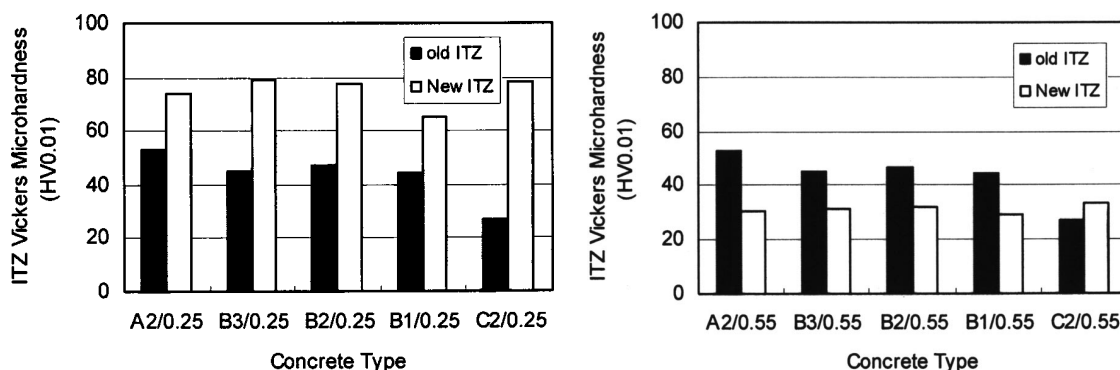
En tenant compte des études consultées, les caractéristiques spécifiques de la zone de transition sont influencées par la qualité de mortier autour de cette zone. Cependant, l'épaisseur (ou quantité) du mortier résiduel ne semble pas avoir une influence déterminante sur les caractéristiques de la zone de transition [Otsuki et al., 2003; Boulay, 2014].

Pour les bétons contenant les granulats recyclés, cette zone a une porosité spécialement élevée [Thomas et al., 2013; Mari et al., 2006], en raison de l'absorption et de la porosité de ce type de granulat. La combinaison de ces facteurs, avec la faible teneur initiale en eau des constituants pendant le processus de mélange, produit une absorption d'eau importante dans la phase primaire de conception du béton et, par conséquent, l'obtention d'une zone de transition de porosité élevée [Poon et al., 2004].

De plus, [Otsuki et al., 2003] ont rapporté l'essai de micro-dureté Vickers en tant que moyen de caractérisation des propriétés de la zone de transition par rapport à la masse. Cette étude a montré un accroissement de la résistance à la compression du béton contenant le granulat recyclé avec l'augmentation de la micro-dureté mesurée dans la zone de transition (Figure 4). Les résultats montrent aussi une meilleure micro dureté de la nouvelle zone de transition pour les bétons avec de rapports E/L de 0,25 (Figure 5). Par contre, la micro-dureté était plus forte dans l'ancienne zone de transition pour les rapports E/L de 0,55 (Figure 5). C'est-à-dire, la vieille zone de transition régit la performance de résistance du béton pour des rapports E/L bas, tandis que la nouvelle zone de transition régit cette performance pour des rapports E/L élevés.



**Figure 4 - Relation entre la micro-dureté Vickers de la vieille zone de transition et la résistance à la compression du béton (E/L = 0,25)**  
[Otsuki et al., 2003]



**Figure 5 - Micro-dureté Vickers de la nouvelle et vieille zone de transition pour un béton avec un rapport E/L de 0,25 (gauche) et un rapport E/L de 0,55 (droite)**  
[Otsuki et al., 2003]

### 2.3.2 Pourcentage optimal du granulat recyclé

Le pourcentage de remplacement optimal du granulat recyclé est celui qui permet de maintenir à un niveau acceptable les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci. Ce pourcentage varie beaucoup dans les études consultées. Cependant, quelques chercheurs proposent une plage de valeurs pour les pourcentages optimaux. D'un côté, [Vivian W Y Tam et al. 2007] mentionnent que les proportions optimales de GR sont d'environ 25 à 40% et 50 à 70%, lors de l'utilisation d'une séquence de malaxage en deux étapes pour la préparation du béton. En effet, l'utilisation d'une séquence de malaxage spécifique lors de la gâchée permet d'obtenir un pourcentage optimal de granulat recyclé plus élevé, par rapport aux méthodes conventionnels de malaxage [Vivian W Y Tam et al., 2007]. D'un autre côté, [Boulay, 2014] affirme que, selon plusieurs recherches, cette plage est entre 20 et 50 % de remplacement de granulats naturels par des granulats recyclés [Etcheberria et al., 2007; Chakradhara Rao et al., 2011; Rao et al. 2007; Corinaldesi, 2010]. De plus, dans la plupart des études il est clair que l'augmentation progressive du pourcentage de granulats recyclés diminue de manière progressive les propriétés physiques et mécaniques du béton [Boulay, 2014].

## 2.4 Propriétés du béton à l'état frais

### 2.4.1 Affaissement

D'une manière générale, la plupart des études rapportent que l'utilisation de granulats recyclés diminue l'affaissement du béton, par rapport au béton avec granulat naturel [Boulay, 2014;

Chakradhara Rao et al., 2011; Butler et al., 2011; López-Gayarre et al., 2009]. Dans leur étude, [Bravo et al., 2015] ont rapporté qu'il est nécessaire d'augmenter le rapport effectif E/L alors que la proportion de granulats recyclés augmente. Cependant, cette augmentation n'est pas identique dans toutes les familles de mélanges avec le granulats recyclés. Ils ont conclu que la forme et la composition des différents granulats recyclés influencent la maniabilité des mélanges. Tel qu'indiqué par [De Brito et al., 2010], la forme plus rugueuse du granulats recyclés, par rapport à la forme du granulats naturel, peut contribuer à ce changement de maniabilité [Bravo et al., 2015].

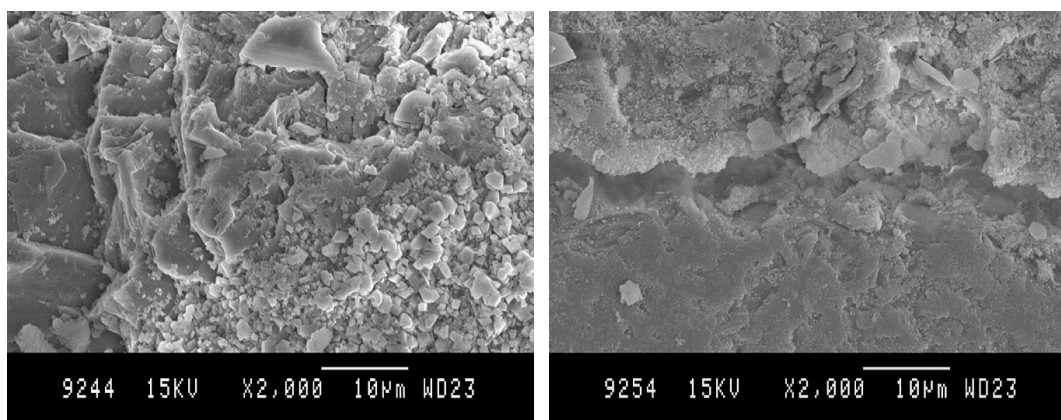
Par contre, [César Medina et al., 2014] ont mesuré une valeur d'affaissement similaire pour un béton avec granulats recyclés, par rapport au béton avec granulats conventionnel. Dans ce cas, l'absorption plus élevée des granulats recyclés était compensé par la conception initiale du mélange, dans lequel l'humidité initiale et l'absorption ont été pris en considération pour empêcher leurs effets négatifs sur une telle propriété physique importante. Des résultats similaires sont rapportés par [Barbudo et al., 2013] et [Fonseca, et al., 2011]. Ils ont observé que l'utilisation de granulats recyclés dans le béton n'a pas eu d'impact direct sur la maniabilité pour un même rapport E/L.

### **2.4.2 Séquence de malaxage**

La séquence de malaxage a une influence importante sur les propriétés du béton contenant des granulats recyclés. Selon [Boulay, 2014] plusieurs méthodes de malaxage ont été développées pour ce type de béton, en cherchant à compenser l'effet négatif de l'absorption liée au granulats recyclés. Parmi les procédures étudiées, diverses recherches mentionnent la haute efficacité de la méthode de mélange en deux étapes, développée par [Vivian W.Y. Tam et al., 2005].

Dans cette méthode, le processus de malaxage est divisé en deux étapes: l'eau requise est divisé proportionnellement en deux parties qui sont ajoutées (1) après avoir mélangé les fins et gros granulats et (2) après avoir ajouté le ciment. Par contre, l'approche de mélange normale mets tous les ingrédients du béton et les mélange sans diviser la quantité d'eau de gâchage [Vivian W Y Tam et al., 2007; Otsuki et al., 2003]. La Figure 6 montre la différence de densité dans la

zone de transition d'un béton avec la méthode de malaxage en deux étapes (gauche) et la méthode conventionnelle (droite).



**Figure 6 - Densité plus grande dans la zone de transition du malaxage en deux étapes (gauche) et densité plus pauvre dans la zone de transition du malaxage conventionnel (droite)**

[Vivian W Y Tam et al., 2007]

Cette méthode est conçue pour enrober le granulat recyclé avec le mortier ayant un rapport E/L plus faible que le reste de la matrice. Avec moins d'eau à proximité de l'agrégat, la croissance cristalline est inhibée pendant l'hydratation et, par conséquent, la zone de transition devient plus compacte [Otsuki et al., 2003]. Selon [Otsuki et al., 2003], des améliorations considérables de la résistance à la compression, à la pénétration d'ions chlorure et à la carbonatation dans les bétons de granulats recyclés peuvent être obtenues en utilisant la méthode de malaxage en deux étapes, spécialement pour des rapports E/L élevés.

### 2.4.3 Rapport eau/liant et mûrissement

Il semble que l'impact négatif du remplacement de granulat naturel par du granulat recyclé augmente quand le rapport E/L diminue [Boulay, 2014; Otsuki et al., 2003; Thomas et al., 2013]. En tenant compte de la recherche de [Otsuki et al., 2003], pour un rapport E/L élevé (0,55), les résultats ne montrent pas une différence importante dans la résistance à la compression du béton avec granulats recyclés. Ceci peut être dû au fait que la nouvelle zone de transition régit la performance de résistance du béton, en notant que cette zone de transition est plus faible que l'ancienne. D'autre part, lorsque le rapport E/L est faible (0,25) les résistances sont plus faibles

par rapport au béton témoin. Dans ce cas, l'ancienne zone de transition régit la résistance à la compression du béton.

Un autre élément trouvé par les chercheurs est l'effet de la forte absorption des granulats recyclés. Avec un rapport E/L important et avec l'utilisation de granulats recyclés sans pré-saturation avant la confection des mélanges, la quantité d'eau disponible peut diminuer à cause de l'absorption, ce qui contribue à compenser l'effet négatif de l'utilisation des granulats recyclés sur la résistance à la compression [Boulay, 2014; López-Gayarre et al., 2009]. Cependant, [Thomas et al., 2013] ont trouvé que cet effet est diminué quand les pourcentages de granulats recyclés sont élevés. En d'autres mots, pour une grande substitution de granulats recyclés, les résistances à la compression ont des différences mineures pour différents rapports E/L.

En tenant compte de l'information recueillie par [Xiao, et al., 2013], les facteurs clés dans la durabilité du béton avec granulats recyclés sont le rapport E/L, le type de mélange et le temps de mûrissement [Koenders, et al., 2014]. Néanmoins, le rapport E/L montre plus de corrélation avec la perméabilité aux ions chlorures, la résistance à l'abrasion, l'absorption et le retrait du béton avec les granulats recyclés [Xiao et al., 2013].

#### **2.4.4 Additions cimentaires**

Les ajouts cimentaires sont des sous-produits de différentes industries qui sont utilisés en supplément ou en remplacement partiel du ciment [Boulay, 2014]. Ces additions peuvent améliorer certaines propriétés des bétons [Kosmatka et al., 2011]. [Papadakis, 2000] ont d'ailleurs trouvé que l'utilisation de ces additions, tels que la fumée de silice ou les cendres volantes, comme substituts partiels du ciment Portland ordinaire, ou pour un autre type de ciment mélangé, peut réduire l'absorption d'eau dans les bétons [César Medina et al., 2014]. Cette propriété est très importante dans le cas de bétons avec granulats recyclés.

#### **2.4.5 Superplastifiant**

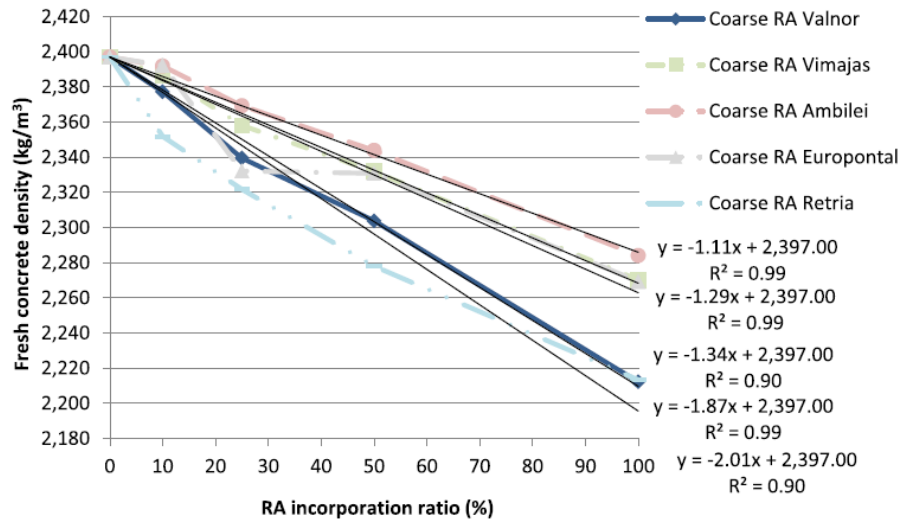
En général, l'utilisation de superplastifiant est très bénéfique pour les propriétés du béton contenant les granulats recyclés. En effet et comme attendu, dans la recherche de [César Medina

et al., 2014] les bétons avec granulats recyclés contenant du superplastifiant ont eu 28% plus de maniabilité que les bétons sans cet adjuvant. Les résultats ont également montré que les mélanges de béton contenant du superplastifiant absorbent moins d'eau; entre 20% et 14% de moins, par rapport aux bétons sans superplastifiant. Ceci peut être attribué au fait qu'avec faibles rapports E/L les bétons superplastifiés conduisent à une baisse du volume total des pores [Hover, 2011], ce qui se traduit en une faible absorption d'eau [Gomes et al., 2009; Kou et al., 2012].

[Pereira, et al., 2012] ont évalué l'influence des superplastifiants sur la résistance à la compression du béton contenant les granulats recyclés fins. Les auteurs ont observé une augmentation de cette résistance pour les mélanges avec superplastifiant (jusqu'à 34,8%). Comme prévu, le gain de résistance a augmenté de la même manière que l'eau du mélange était réduite par l'action du superplastifiant. Les auteurs ont également constaté que le superplastifiant avait une influence plus grande sur la résistance à la compression du béton conventionnel que pour le béton avec granulats recyclés. La perte d'efficacité des additifs est justifiée par l'augmentation de la surface spécifique des granulats, en raison de l'incorporation de granulats/ recyclés [Bravo et al., 2015; Barbudo et al., 2013].

#### **2.4.6 Masse volumique**

Diverses études montrent une diminution de la masse volumique du béton à l'état frais avec une augmentation du pourcentage de granulats recyclés utilisés [Agrela et al., 2011; Thomas et al., 2013]. [Bravo et al., 2015] ont montré que la masse volumique du béton à l'état frais diminue à mesure que la quantité de granulat recyclé dans le béton augmente (Figure 7). Selon cette recherche, ceci est justifié par la masse volumique plus faible des particules de granulats recyclés par rapport au granulats naturels. Les chiffres montrent également que cette réduction varie en fonction du type de granulat recyclé spécifique utilisé, car cela dépend de la composition du granulat des différentes usines de production.



**Figure 7 – Masse volumique à l'état frais du béton en fonction de différents pourcentages et types de granulat recyclé**  
[Bravo et al., 2015]

## 2.5 Propriétés du béton à l'état durci

### 2.5.1 Absorption du béton durci

Dans le béton contenant des granulats recyclés, il y a une forte croissance de l'absorption de l'eau. Le Tableau 2 présente les résultats d'absorption d'eau obtenus par [César Medina et al., 2014] dans différents types de béton. Les mélanges témoins avec granulat naturel sont ceux marqués avec RC et RCS. Les valeurs d'absorption ont augmenté avec le pourcentage de granulats recyclés mixtes, et plus fortement dans les bétons contenant des granulats recyclés mélangés avec des particules flottantes. Ce comportement a été principalement attribuable aux différences dans l'absorption d'eau de granulats recyclés et granulats naturels [González-Fonteboa et al., 2008; Levy et al., 2004; C. Medina et al., 2013].



**Tableau 2 - Absorption de l'eau pour bétons contenant les granulats recyclés**  
[César Medina et al., 2014]

Concrete	Total water absorption (wt%)	% Increase
RC	$3.64 \pm 0.084$	0.00
RCF-25	$4.13 \pm 0.030$	13.39
RCF-50	$4.65 \pm 0.008$	27.63
RC-25	$3.94 \pm 0.010$	8.27
RC-50	$4.53 \pm 0.086$	26.18
RCS	$2.91 \pm 0.147$	0.00
RCFS-50	$3.96 \pm 0.025$	36.19
RCS-50	$3.80 \pm 0.137$	30.82

### 2.5.2 Résistance à la compression

En général, les chercheurs ont trouvé une diminution de la résistance à la compression du béton avec l'augmentation progressive du pourcentage de granulats recyclés. Pourtant, le pourcentage à partir duquel la résistance commence à diminuer de manière significative n'est pas encore clair. Selon diverses études consultées, les valeurs de résistance dépendent de plusieurs facteurs associés à chaque mélange, à chaque type de granulats recyclés et à chaque condition d'essai [Boulay, 2014]. En conséquence, jusqu'à maintenant, il n'est pas possible d'établir un critère d'utilisation général lié seulement au granulats recyclés pour une résistance à la compression précise du béton.

D'un côté, [César Medina et al., 2014] ont rapporté que les résistances de béton à 7 et 28 jours ont diminué avec des pourcentages croissants de remplacement des granulats recyclés. Dans cette recherche, la résistance à la compression à 28 jours était entre 15 et 20% inférieure pour le béton recyclé par rapport au béton de référence. La baisse de résistance dans les bétons recyclés était rapportée par [Mas et al., 2012; Martínez-Lage et al., 2012; Poon et al., 2007; César Medina et al., 2014; Zaharieva et al., 2003] entre autres, avec des pertes de résistance qui varient de 10 à 40% pour différents remplacements de granulats recyclés.

Selon [Bravo et al., 2015], ces pertes de résistance sont dues aux facteurs suivants: moins de force mécanique apportée par le granulats recyclés, une plus grande absorption d'eau par le granulats recyclés, une augmentation des zones fragiles dans le béton, à savoir la zone de transition

interfaciale entre l'ancienne pâte de ciment et le granulat naturel d'origine et aussi, celle entre le granulat recyclé et la nouvelle pâte de ciment. De plus, [Bravo et al., 2015] mentionnent que la taille du granulat recyclé, sa composition et son origine sont les autres facteurs qui influencent de manière importante les résultats pour ce type de matériau.

D'un autre côté, dans l'étude réalisée par [Otsuki et al., 2003], les résistances à la compression du béton recyclé étaient égales à celles du béton de granulat naturel pour les rapports E/L de 0,40, 0,55 et 0,70; tandis que les résistances à la compression de bétons avec granulats recyclés étaient inférieures à celles du béton de granulat naturel pour un rapport E/L de 0,25. Comme mentionné précédemment, cela peut être expliqué par l'influence de la nouvelle zone de transition pour les mélanges de rapport E/L élevés.

[Etxeberria et al., 2007] ont obtenu une perte de résistance à la compression pour le remplacement complet des granulats naturels par des granulats recyclés, mais lorsque seulement 25% des granulats est remplacé, aucun effet significatif sur la résistance à la compression est observé. De plus, [Evangelista et al., 2007] ont analysé la résistance à la compression de divers mélanges de béton contenant les granulats recyclés incluant la portion des fins, et ils ont trouvé des valeurs semblables à celles du béton de référence. Ils justifient ces bons résultats par la présence de particules de ciment non-hydratées dans le granulat recyclé fin et la meilleure liaison entre la pâte de ciment et les particules fines du granulat recyclé, en raison de leur plus grande porosité. Des résultats similaires ont aussi été obtenus par [Gomes et al., 2009].

### **2.5.3 Résistance à la traction**

De manière similaire à celle de la résistance à la compression, la tendance générale est la diminution de la résistance à la traction du béton avec l'augmentation du pourcentage de remplacement de granulats recyclés [Boulay, 2014]. Les résultats de [César Medina et al., 2014; Mas, et al., 2012; Mas et al., 2012 (2); Otsuki et al., 2003; Bravo et al., 2015] entre autres, confirment ce comportement.

### **2.5.4 Module d'élasticité**

Tant dans les cas de la résistance à la compression que dans le cas de la résistance à la traction, la plupart des études mentionnent une baisse dans le module d'élasticité avec l'augmentation du taux de remplacement des granulats naturels par les granulats recyclés [Boulay, 2014]. [Bravo et al., 2015] ont obtenu des résultats qui appuient cette affirmation. Par ailleurs, selon cette étude, la composition du granulat recyclé est le facteur qui a le plus d'influence sur le module d'élasticité.

### **2.5.5 Résistance à la flexion**

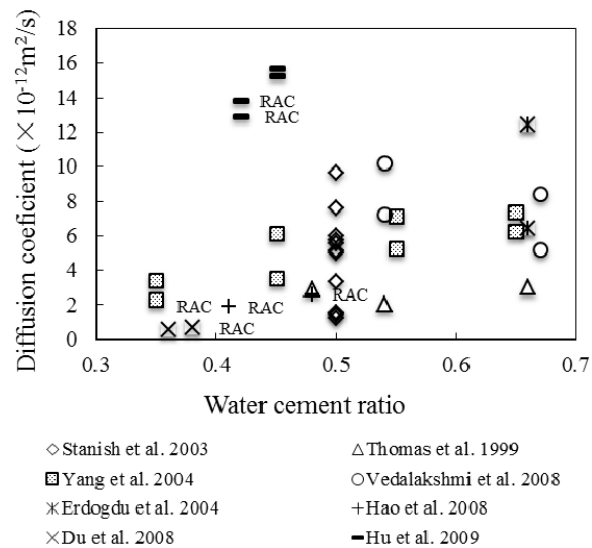
Contrairement aux trois propriétés mécaniques mentionnées dans les paragraphes précédents, la résistance à la flexion n'est pas affectée significativement par le remplacement des granulats naturels par des granulats recyclés [Boulay, 2014]. Certains chercheurs ont décelé de légères réductions dans la résistance à la flexion, tandis que d'autres ont plutôt trouvé des améliorations. Ce dernier cas a été obtenu par [Vivian W Y Tam et al., 2007], pour lesquels le pourcentage optimal de remplacement de granulats était entre 29% et 39%. Pour ces valeurs, ils ont obtenu une amélioration de la résistance à la flexion de 21,8%, 21,5%, 7,6% et 12,9% à 7, 14, 28 et 56 jours de durcissement respectivement. En outre, des améliorations dans la résistance à la flexion de 3,6%, 9,4%, 2,2% et 2,4% avec substitutions de granulat recyclé de 60,6%, 60,6%, 69,7% et 67,7% à 7, 14, 28 et 56 jours de durcissement respectivement, ont été enregistrés.

## **2.6 Durabilité du béton avec granulats recyclés**

Une synthèse des principaux résultats recueillis par diverses recherches liées à la durabilité du béton contenant des différents remplacements de granulat naturel par des granulats recyclés est rapportée. Malgré la variation des types de matériaux utilisés, des conditions expérimentales, des normes adaptées et du genre de granulat recyclé testé, certaines caractéristiques générales sont discutées afin de donner une idée globale du comportement de ce matériau en termes de durabilité.

### 2.6.1 Perméabilité aux ions chlorure

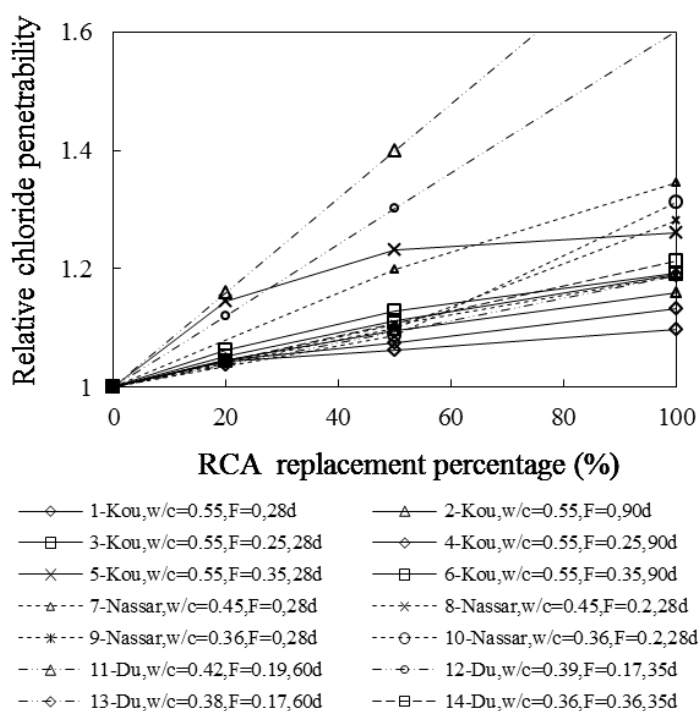
Dans des conditions avec présence de sels, les ions chlorure ne sont pas le seul facteur de risque pour la corrosion de l'acier de renforcement, mais cette caractéristique représente un des plus importants critères pour l'application généralisée et l'acceptation du béton avec les granulats recyclés [Xiao et al., 2013]. Afin de montrer les caractéristiques de diffusion des ions chlorure dans le béton avec granulats recyclés, [Xiao et al., 2013] présente les coefficients de diffusion de différents bétons en montrant l'effet du rapport E/C. Les résultats montrent les bétons avec granulats recyclés (RAC) et les bétons avec granulats naturels pour différentes études (Figure 8).



**Figure 8 - Coefficients de diffusion de béton avec granulats recyclés (RAC) et béton avec granulats naturels pour différentes études**  
[Xiao et al., 2013]

On peut voir d'après la Figure 8 que la plupart des coefficients de diffusion du béton fait avec le granulat naturel varient dans la gamme de  $(1 \text{ à } 10) \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ , et que la limite supérieure de la diffusivité de chlorure augmente avec la croissance du rapport E/C. Alors que la plupart des coefficients de diffusion du béton fait avec les granulats recyclés (RAC) varient dans la gamme de  $(1 \text{ à } 16) \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ , montrant une plus grande valeur que celle du béton fait avec le granulat naturel. Cela peut être expliqué par l'influence du mortier résiduel et la vieille zone de transition, qui varie dans une gamme plus large que celle du nouveau mortier [Xiao et al., 2013].

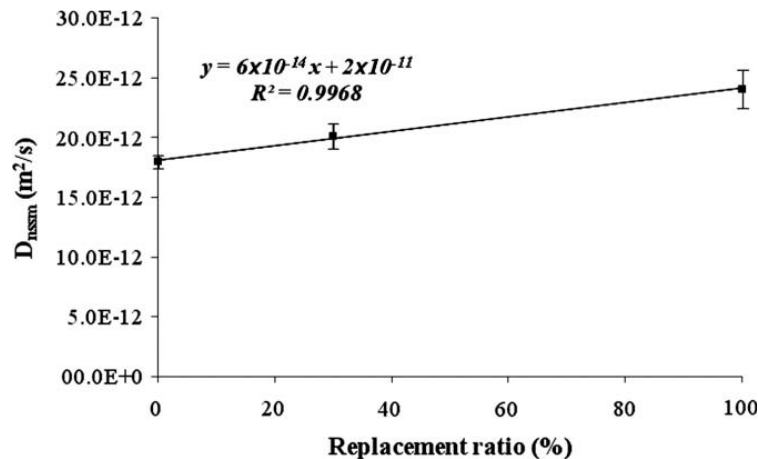
Divers résultats révèlent que le remplacement de gros granulats recyclés a une influence remarquable sur la perméabilité aux ions chlorure du béton. La Figure 9 illustre la relation entre la pénétrabilité des ions chlorure dans les bétons faits avec granulats recyclés et le pourcentage de remplacement de ces granulats. Ceci indique que la pénétrabilité des ions chlorure augmente linéairement avec l'augmentation du pourcentage de remplacement des granulats naturels par les granulats recyclés. La Figure 9 montre également que la pente de la droite varie en raison des différentes conditions expérimentales, notamment les adjuvants minéraux, le rapport E/C, l'âge de durcissement, etc. L'utilisation des granulats recyclés peut augmenter légèrement le coefficient de perméabilité et le coefficient de diffusion des ions chlorure. Cependant, les valeurs sont acceptables pour un béton durable [Xiao et al., 2013].



**Figure 9 - Variation du rapport de pénétration des ions chlorure avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés pour différentes études**  
(Xiao et al., 2013)

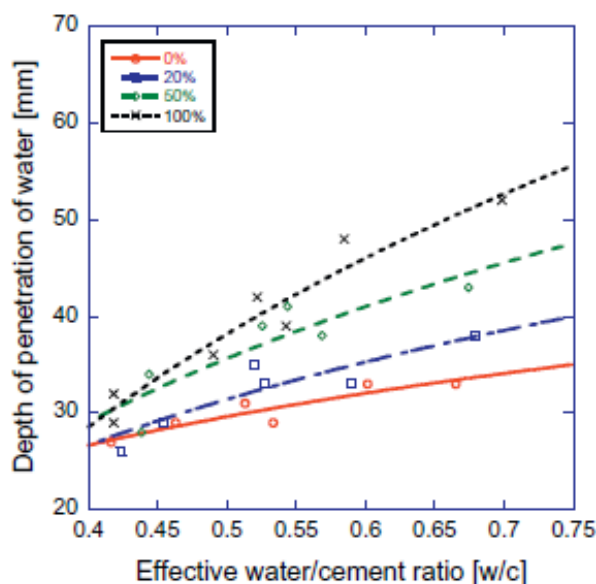
[Evangelista et al., 2010] ont étudié l'effet du remplacement de granulats recyclés fins sur la pénétration des ions chlorures. Dans cette recherche, l'évaluation a été faite sur les mélanges proportionnés avec 30% et 100 % de taux de remplacement des granulats recyclés, en comparant

avec le béton témoin. Une augmentation d'environ 12% a été obtenue en termes de coefficient de migration pour le béton de 30% de granulats recyclés, tandis que la valeur a augmenté de 33,8% pour le béton avec 100% de taux de remplacement. La Figure 10 présente les valeurs moyennes de la variation de la perméabilité aux ions chlorure avec le taux de remplacement des granulats naturels par les granulats recyclés, ainsi que l'écart type mesuré pour chacune des compositions du mélange.



**Figure 10 - Relation entre la variation du coefficient de migration des ions chlorure et le pourcentage de remplacement de granulats recyclés fin**  
[Evangelista & de Brito, 2010]

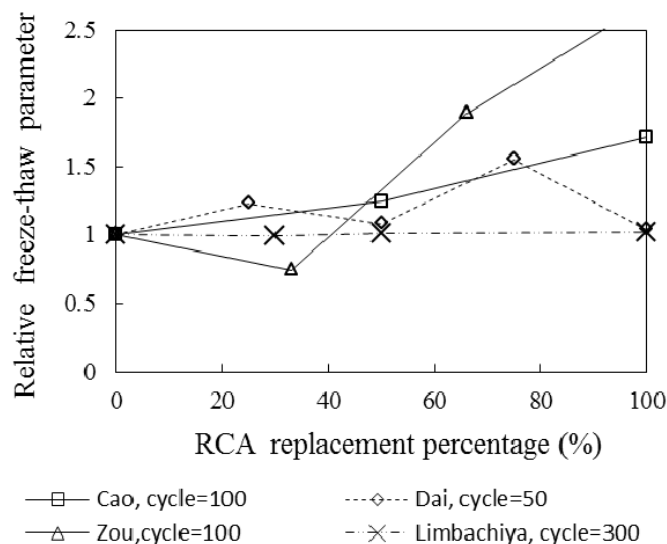
Finalement, [Thomas et al., 2013] ont étudié la pénétration de l'eau dans le béton pour des mélanges de différents pourcentages de granulats recyclés. Cette caractéristique physique donne des informations liées à la perméabilité à l'eau de ce matériau et par conséquent, on obtient de l'information indirecte sur la facilité avec laquelle les ions chlorure peuvent rentrer dans la matrice du béton. Dans cette étude, la profondeur de pénétration de l'eau a augmenté avec le rapport E/C et avec la quantité de granulats recyclés utilisée (Figure 11).



**Figure 11 - Profondeur de pénétration de l'eau en fonction du rapport E/C pour différents grades de substitution de granulat recyclé à 365 jours d'âge**  
[Thomas et al., 2013]

## 2.6.2 Résistance aux cycles gel-dégel

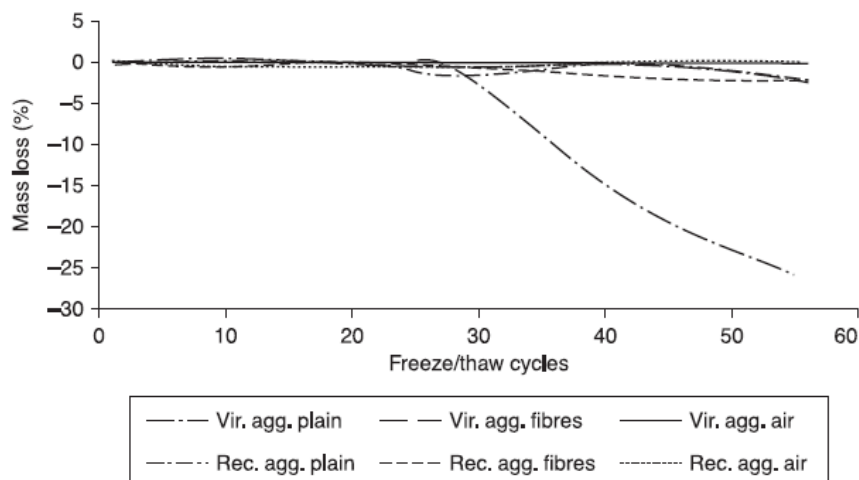
[Xiao et al., 2013] ont analysé la résistance aux cycles gel-dégel de différentes recherches pour ce type de granulat. La Figure 12 donne la relation entre la résistance au gel-dégel et le taux de remplacement des granulats recyclés. On observe que la variation est très grande et il ne semble pas exister une tendance définie. Plusieurs études montrent, par ailleurs, que la résistance aux cycles gel-dégel pour le béton fait avec les granulats recyclés est plus ou moins similaire à celle du béton fait avec les granulats naturels correspondant [Boulay, 2014]. Cependant, d'autres études démontrent que le taux de perte de résistance du béton faite avec les granulats recyclés est supérieur à celle du béton avec les granulats naturels. La raison principale qui explique ce comportement est que le béton recyclé a une résistance au gel-dégel plus faible en raison de son absorption d'eau très élevée [Xiao et al., 2013].



**Figure 12 - Variation du paramètre relative de la résistance aux cycles gel-dégel avec le remplacement de granulat recyclé dans le béton. Évaluation de différentes études**  
[Xiao et al., 2013]

D'un autre côté, la Figure 13 montre la performance comparative du béton ordinaire, du béton avec fibres de polypropylène et du béton avec de l'entraînement d'air, fabriqués avec des granulats naturels et granulats recyclés [Pacheco-Torgal et al., 2013]. La tendance du pourcentage de perte de masse est évaluée sur une durée de 56 cycles de gel-dégel pour lesquels l'enregistrement a été fait tous les 7 cycles. Les résultats montrent que l'utilisation d'un agent entraîneur d'air ou de fibres de polypropylène dans le béton fait avec des granulats recyclés est aussi efficace pour fournir une meilleure résistance aux cycles gel-dégel, par rapport au béton fabriqué à partir de granulats naturels [Pacheco-Torgal et al., 2013].



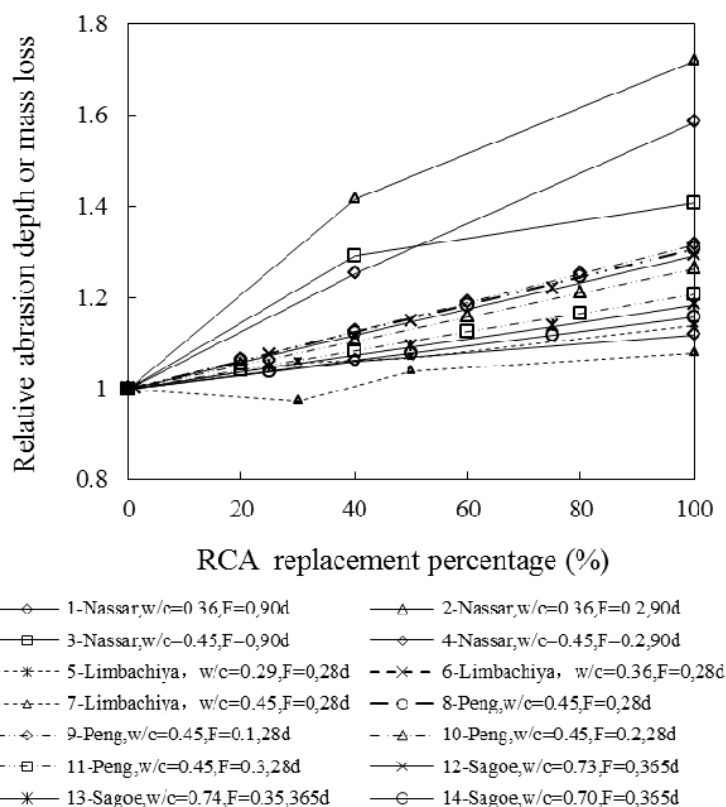


**Figure 13 - Pourcentage de perte de masse pour des échantillons soumis à cycles gel-dégel**

[Pacheco-Torgal et al., 2013]

### 2.6.3 Résistance à l'abrasion

Les résultats de différentes recherches montrent que le pourcentage de remplacement des granulats recyclés a une influence notable sur la résistance à l'abrasion du béton. La Figure 14 illustre la relation entre la résistance à l'abrasion relative du béton fait avec les granulats recyclés et le pourcentage de remplacement de ces granulats. Ceci indique que la résistance à l'abrasion diminue avec l'augmentation du pourcentage de remplacement de granulats recyclés [Xiao et al., 2013]. Malgré la variation de la résistance à l'abrasion d'une étude à l'autre, dans la plupart de cas, il est observé que la perte de masse augmente avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés.

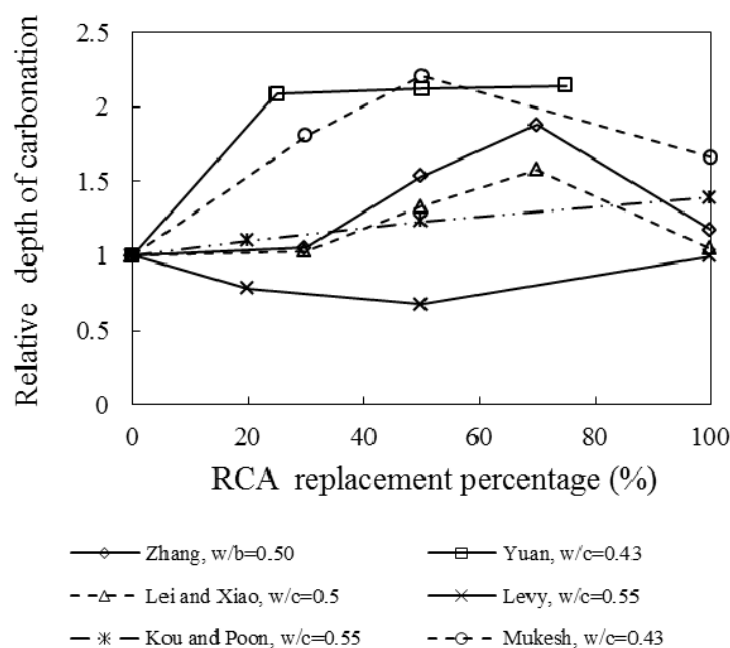


**Figure 14 - Profondeur d'abrasion relative ou perte de masse vs remplacement de granulat recyclé**  
[Xiao et al., 2013]

[Matias et al., 2013] ont observé une diminution de l'abrasion pour les mélanges faits avec des gros granulats recyclés. Ils ont justifié ce résultat grâce à une meilleure liaison entre ces granulats et la pâte de ciment. [Evangelista et al., 2007] ont également constaté que l'utilisation des granulats recyclés fins dans le béton tend à améliorer la performance des bétons contre l'usure. Par ailleurs, [Pereira et al., 2012] ont évalué l'influence de l'utilisation de différentes proportions de granulat recyclé contenant des fins sur la résistance à l'abrasion (pourcentages de 0%, 10%, 30%, 50% et 100%). Dans ce cas, l'utilisation de granulats recyclés a provoqué des augmentations de l'épaisseur d'abrasion jusqu'à 21,7%, 39,5% et 51,3%, pour les mélanges sans superplastifiant, avec réducteur d'eau et avec superplastifiant de haute performance [Bravo et al., 2015].

## 2.6.4 Carbonatation

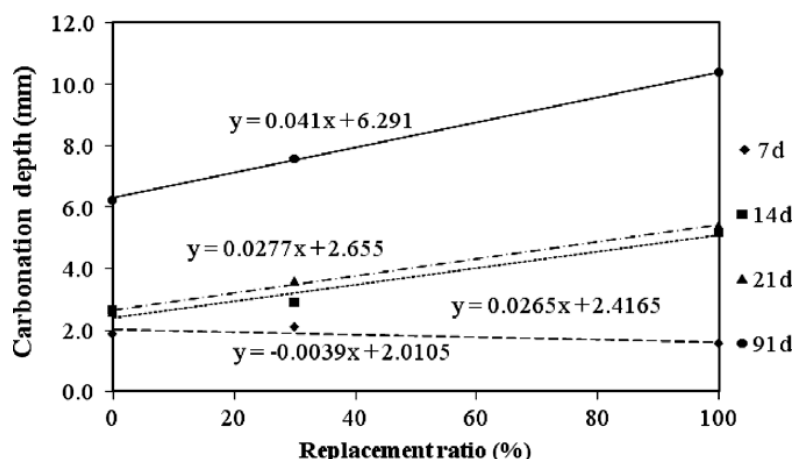
La Figure 15 montre la relation entre la profondeur relative de la carbonatation et le pourcentage de remplacement de granulats recyclés à 28 jours, pour différentes études analysées par [Xiao et al., 2013]. Dans ces résultats, la variation est très grande et il ne semble pas y avoir un consensus général de l'influence des pourcentages des granulats recyclés sur la profondeur de carbonatation [Boulay, 2014]. Cependant, dans la plupart des études, il est clair qu'avec l'augmentation du taux de granulat recyclé, il y a une diminution des propriétés associées à la carbonatation du béton. Selon certaines études, la microstructure du béton fait avec les granulats recyclés devient plus complexe et l'interface augmente avec l'inclusion de granulat recyclé dans le béton, ce qui a une influence négative sur la résistance à la carbonatation [Xiao et al., 2013].



**Figure 15 - Variation relative de la profondeur de carbonatation avec le remplacement de granulat recyclé pour différentes études**  
[Xiao et al., 2013]

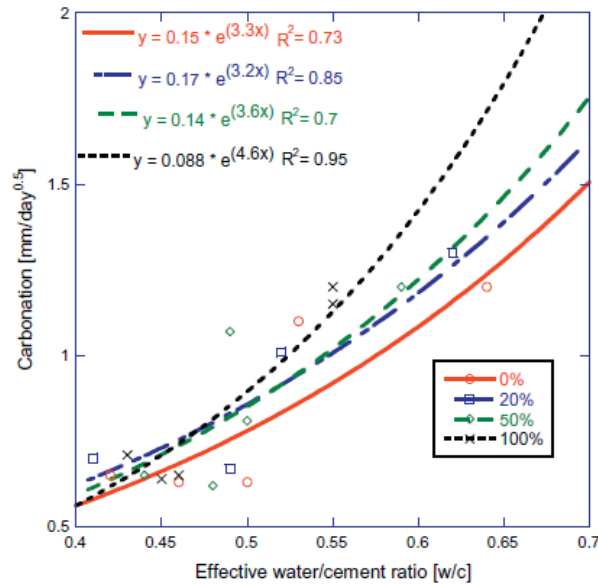
L'étude de [Evangelista et al., 2010] a montré des résultats similaires à ceux de [Xiao et al., 2013]. En général, la profondeur de carbonatation augmente avec le taux de remplacement (Figure 16). En tenant compte de la variation de la profondeur de carbonatation avec le pourcentage de remplacement des granulats naturels par des granulats recyclés, il est possible

de déduire que la profondeur de carbonatation augmente presque linéairement avec le taux de remplacement [Evangelista et al., 2010].



**Figure 16 - Variation de la profondeur de carbonatation avec le taux de remplacement de granulat naturel fin par granulat recyclé fin**  
[Evangelista et al., 2010]

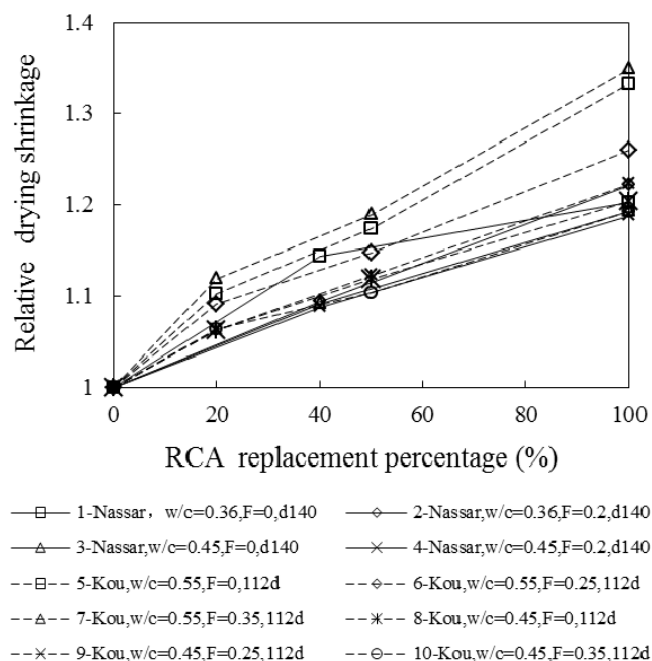
Finalement, la Figure 17 présente les résultats de carbonatation obtenus par [Thomas et al., 2013]. Ce graphique montre la variation du taux de carbonatation en fonction du rapport E/C du béton fait avec les granulats recyclés à différents pourcentages de substitution et après 28 jours d'exposition au CO<sub>2</sub>. La Figure 17 montre que pour un rapport effectif E/C au-dessous de 0,45, l'addition de granulats recyclés a peu d'effet sur la vitesse de carbonatation. Il est suggéré que le principal facteur affectant la carbonatation du granulat recyclé est la réserve d'alcalinité. En effet, l'alcalinité réduit la vitesse de carbonatation, même si le facteur crucial est la perméabilité du béton [Thomas et al., 2013].



**Figure 17 – Variation du taux de carbonatation avec le rapport E/C pour différents pourcentages de substitution de granulat recyclé**  
[Thomas et al., 2013]

### 2.6.5 Retrait de séchage

Le retrait de séchage empêché provoque une augmentation de la contrainte de traction, ce qui peut conduire à la fissuration, à la déformation et à la détérioration du béton fait avec granulats recyclés [Xiao et al., 2013]. Plusieurs études ont été menées pour étudier l'influence du remplacement des granulats recyclés sur le pourcentage du retrait de séchage. La Figure 18 illustre la relation entre le retrait au séchage relatif du béton avec granulats recyclés et le pourcentage de remplacement de ce granulat. Ceci montre que le retrait de séchage augmente linéairement avec l'augmentation du pourcentage de remplacement des granulats recyclés. Un des facteurs très importants pour l'augmentation du retrait dans ce type de béton est la grande absorption que le granulat recyclé présente [Xiao et al., 2013].



**Figure 18 – Variation du retrait de séchage relatif avec le pourcentage de remplacement de granulat recyclé pour différentes études**  
[Xiao et al., 2013]

Quoique la plupart des études rapportent une augmentation du retrait de séchage avec l'augmentation du pourcentage de remplacement des granulats recyclés [Xiao et al., 2013; Boulay, 2014], pour des pourcentages de remplacement inférieurs à 20% il ne semble pas y avoir un grand impact sur le retrait de séchage. Les deux causes les plus importantes pour le retrait du séchage dans ce type de béton sont la présence de mortier résiduel et l'eau supplémentaire ajoutée pour compenser la porosité du granulat [Boulay, 2014].

# **CHAPITRE 3 PROGRAMME EXPÉRIMENTAL ET PROCÉDURES D'ESSAIS**

## **3.1 Introduction**

Le présent chapitre décrit les procédures et essais réalisés en laboratoire pour l'évaluation des propriétés à l'état frais et à l'état durci de différentes formulations de béton avec granulats recyclés. Dans une première phase, une série d'essais est réalisée pour déterminer les caractéristiques des deux types de granulats recyclés utilisés. Dans la seconde phase, des formulations de béton ont été préparées avec des taux de remplacement variables des granulats recyclés et les propriétés mécaniques de ces bétons sont déterminées. Dans la troisième phase, différents essais de durabilité ont été réalisés en utilisant les formulations optimisées en regard des performances mécaniques. La description détaillée des essais de caractérisation est présentée ci-dessous.

## **3.2 Phase 1 - Caractérisation des matériaux**

Les granulats recyclés utilisés dans cette étude proviennent de deux sources différentes et ont des caractéristiques différentes. Un des granulats provient de la compagnie Recy Béton Inc., et l'autre provient de la compagnie Groupe Bauval. Les deux types de granulats ont été caractérisés et utilisés comme remplacement partiel des gros granulats et granulats fins pour formuler des bétons avec granulats recyclés destinés à la construction des pavages et trottoirs.

Le granulat de Bauval a une taille nominale maximale de 31,5 mm, tandis que le granulat de Recy Béton a une taille nominale maximale de 28 mm. Pour l'identification ultérieure des granulats, le nom "RB-28 mm" sera utilisé pour celui provenant de Recy Béton et "BA-31,5 mm" pour celui de Groupe Bauval. Les deux granulats recyclés sont de type MR-2 selon la classification attribuée à ce type de matériaux dans la norme NQ2560-600. Tel que mentionné dans le chapitre précédent, cette classification est basée sur les pourcentages de béton de ciment, de béton bitumineux et de granulat naturel contenus dans les granulats recyclés. Dans le cas de granulat recyclé de type MR-2, il y a plus de 50% de béton de ciment, moins de 15% de béton bitumineux et moins de 50% de granulat naturel (Tableau 3).

**Tableau 3 - Classification des matériaux recyclés selon le MTQ - (NQ2560-600)**

[Marquis et al., 1998]

Classes	MR-1	MR-2	MR-3	MR-4	MR-5	MR-6	MR-7
% b.c.	$\leq 50 \%$	$> 50 \%$	$\leq 30 \%$	$> 30 \%$	$< 65 \%$	$< 50 \%$	$< 15 \%$
% b.b.	$\leq 15 \%$	$\leq 15 \%$	15 - 35 %	15 - 35 %	35 - 50 %	50 - 85 %	$> 85 \%$
% g.c.	$\geq 35 \%$	$< 50 \%$	35 - 85 %	$< 55 \%$	$< 65 \%$	$< 50 \%$	$< 15 \%$

**Figure 19 - Granulat recyclé avec béton de ciment (gauche) et gros granulat naturel (droite)****Figure 20 - Granulat recyclé avec béton bitumineux (gauche) et granulat recyclé avec béton de ciment (droite)**

La caractérisation des granulats recyclés RB-28 mm et BA-31,5 mm a été réalisée en utilisant des essais normalisés, notamment la granulométrie, la densité, l'absorption, l'humidité, la vitesse d'absorption, la résistance à l'abrasion et le pourcentage de mortier résiduel. L'essai de la vitesse d'absorption a été effectué en mesurant à des périodes prédéterminés le poids du granulat dans l'eau pendant les premières minutes d'immersion (méthode proposée par A. Djerbi Tegguer) [Djerbi Tegguer, 2012]. Par ailleurs, le pourcentage de mortier résiduel a été déterminé par une classification visuelle de chaque particule dans un échantillon global. Le reste des procédures a été effectué conformément aux normes CSA en vigueur (Tableau 4).



**Tableau 4 - Normes des essais de caractérisation des granulats recyclés**

<b>Essai de caractérisation</b>	<b>Norme</b>
Granulométrie	CSA A23.2-2A
Densité	CSA A23.2-12, CSA A23.2-6A
Absorption	CSA A23.2-12, CSA A23.2-6A
Humidité	CSA A23.2-11A
Vitesse d'absorption	Méthode proposée par A. Djerbi Tegguer [Djerbi Tegguer, 2012]
Résistance à l'abrasion	CSA A23.2-16A
Pourcentage de mortier résiduel	Identification de la classe selon le Devis Technique Normalisé 6VM-20

Les gros granulats naturels utilisés proviennent de la carrière Saint Dominique. Selon les exigences granulométriques des gros granulats de la norme CSA, les granulats utilisés sont classés en trois différentes classes : granulats 5-14 mm (Figure 21), granulats 5-20 mm (Figure 22) et granulats 2,5-10 mm (Figure 23). Les courbes granulométriques de ces différents granulats sont présentées dans le Tableau 5 et Tableau 6.

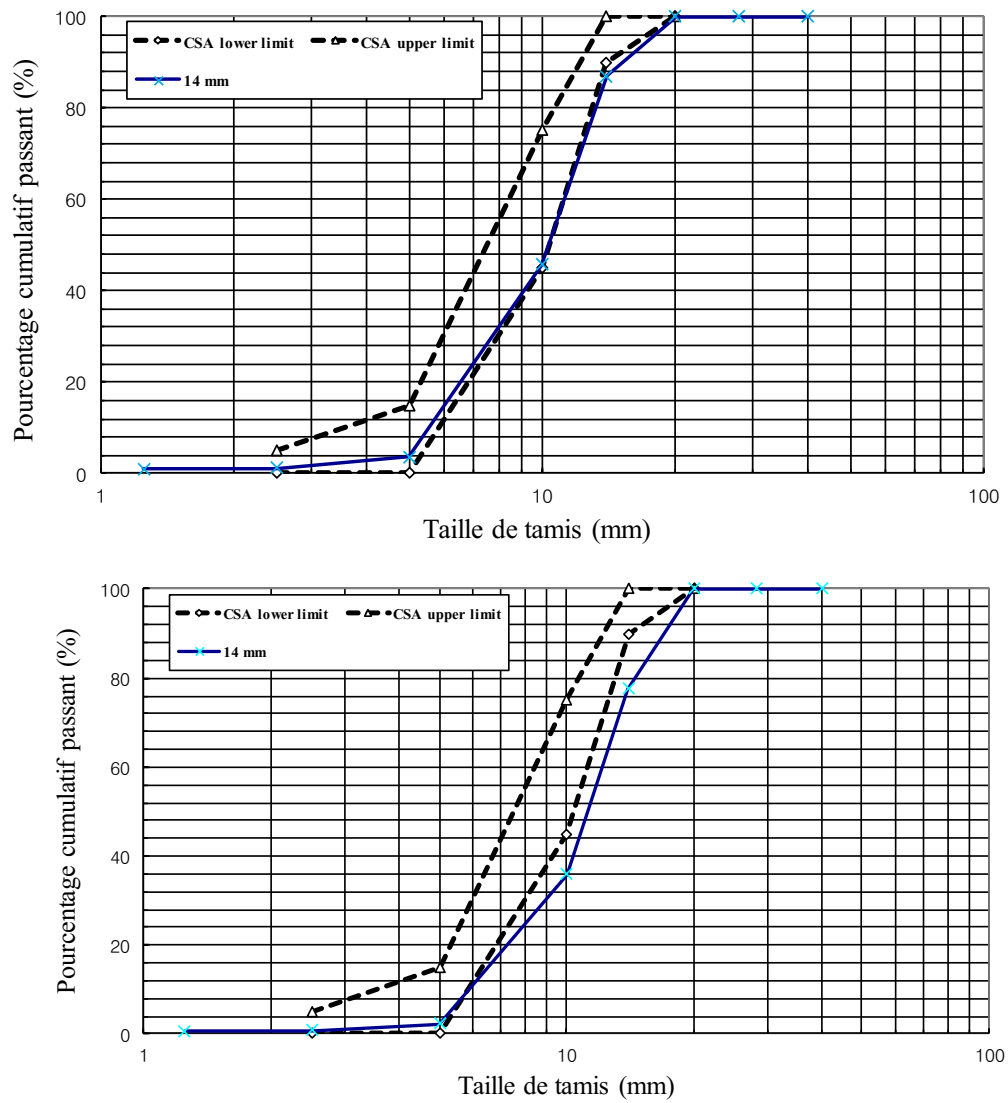
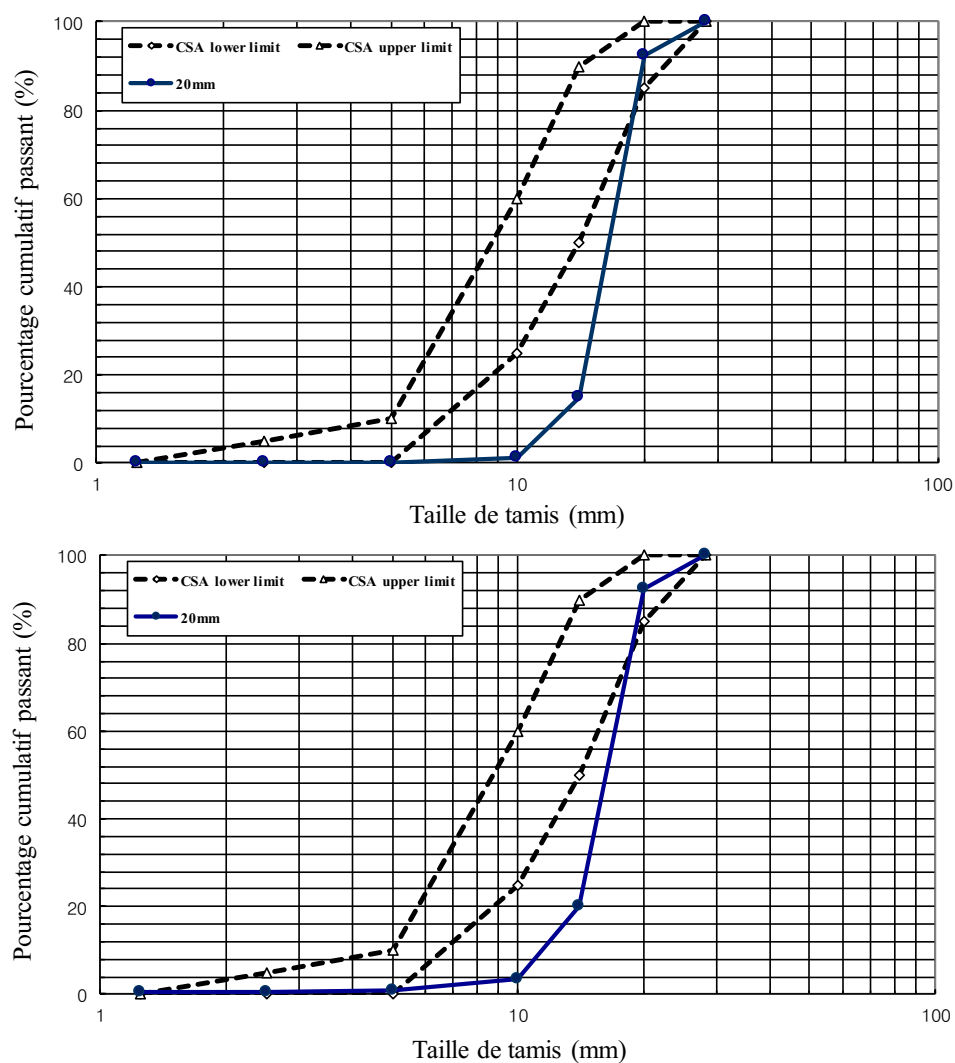


Figure 21 - Courbes granulométriques des granulats utilisés-gros granulat naturel 5 – 14 mm

**Tableau 5 - Granulométrie moyenne du granulat naturel 5-14 mm**

Tamis (mm)	(% cumulé passant)	(% cumulé passant)	Moyenne de deux mesures (%)
40	100,0	100,0	100,0
28	100,0	100,0	100,0
20	100,0	100,0	100,0
14	87,0	77,6	82,3
10	45,6	35,8	40,7
5	3,5	2,3	2,9
2,5	1,2	0,8	1,0
1,25	1,0	0,7	0,8
PLAT	0,05	0,02	0,03

**Figure 22 - Courbes granulométriques des granulats utilisés – gros granulat naturel 5-20 mm**

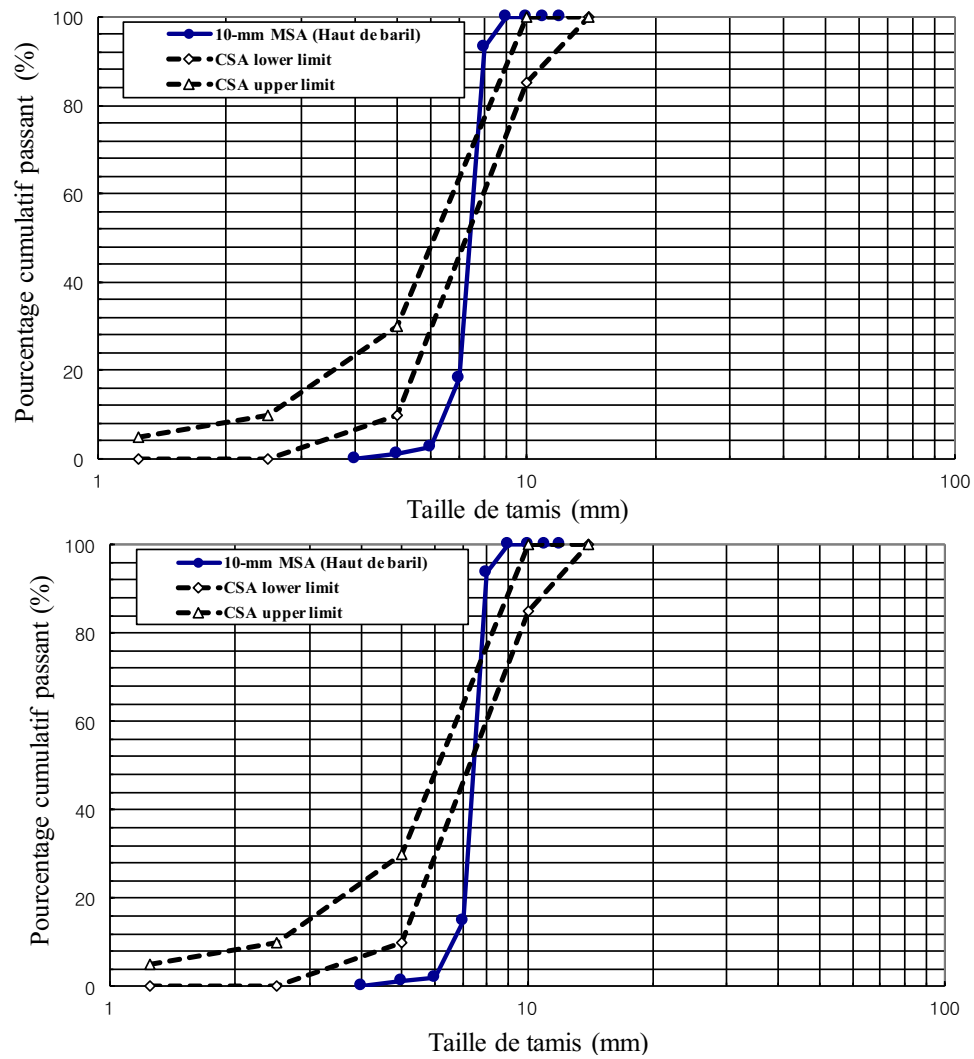


Figure 23 - Courbes granulométriques des granulats utilisés – gros granulat naturel 2,5-10 mm

**Tableau 6 - Granulométrie moyenne du granulat naturel 2,5-10 et 5-20 mm****Moyenne de Granulat 5-20 mm**

<b>Tamis (mm)</b>	<b>(% cumulé passant)</b>	<b>(% cumulé passant)</b>	<b>Moyenne de deux mesures (%)</b>
40	100,0	100,0	100,0
28	100,0	100,0	100,0
20	92,6	92,4	92,5
14	14,8	20,0	17,4
10	1,4	3,3	2,3
5	0,3	0,9	0,6
2,5	0,3	0,6	0,4
1,25	0,3	0,5	0,4
PLAT	0,06	0,07	0,06

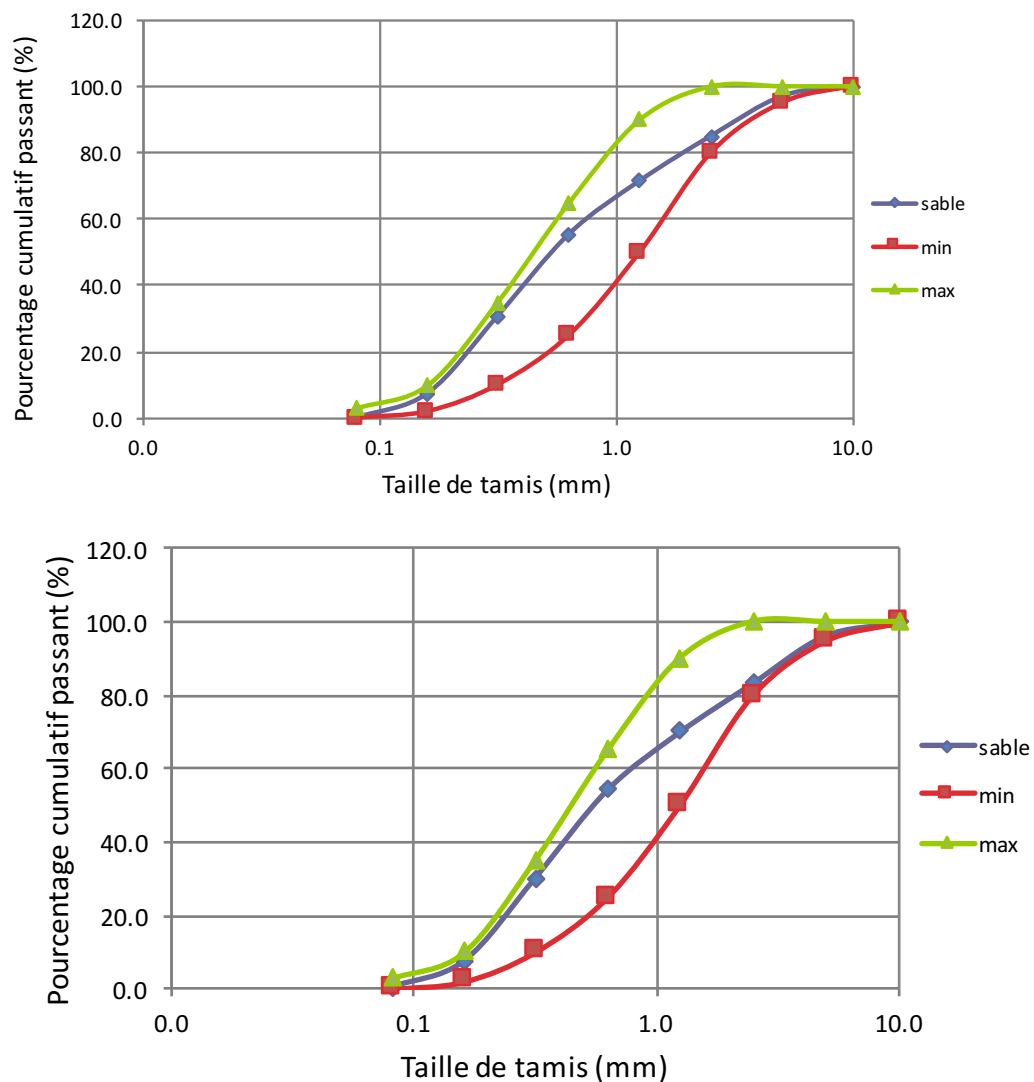
**Moyenne de Granulat 2,5-10 mm**

<b>Tamis (mm)</b>	<b>(% cumulé passant)</b>	<b>(% cumulé passant)</b>	<b>Moyenne de deux mesures (%)</b>
40	100,0	100,0	100,0
28	100,0	100,0	100,0
20	100,0	100,0	100,0
14	100,0	100,0	100,0
10	93,3	93,6	93,5
5	18,3	14,9	16,6
2,5	2,7	2,0	2,4
1,25	1,2	1,1	1,2
PLAT	0,15	0,13	0,14

**Moyenne de Granulat 2,5-10 et 5-20 mm**

<b>Tamis (mm)</b>	<b>(% cumulé passant 10 mm)</b>	<b>(% cumulé passant 20 mm)</b>	<b>Moyenne de deux mesures (%)</b>
40	100,0	100,0	100,0
28	100,0	100,0	100,0
20	100,0	92,5	96,3
14	100,0	17,4	58,7
10	93,5	2,3	47,9
5	16,6	0,6	8,6
2,5	2,4	0,4	1,4
1,25	1,2	0,4	0,8
PLAT	0,14	0,06	0,10

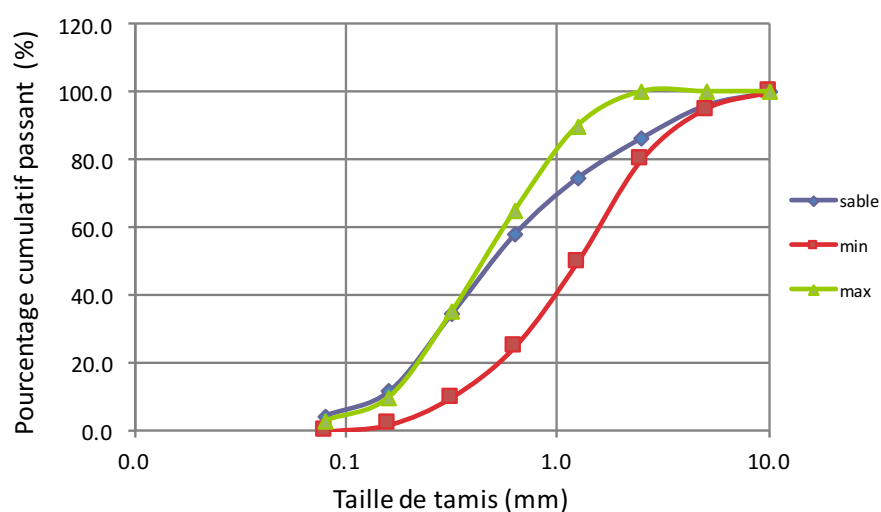
Le sable utilisé pour la confection des formulations étudiées provient de la compagnie Construction DJL Inc. Le sable utilisé a une dimension maximale de 5 mm et un module de finesse entre 2,3 et 2,6. Par ailleurs, le sable utilisé pour la formulation des bétons avec granulats recyclés BA-31,5 mm présentait une distribution granulométrique différente à celle du sable utilisé dans les formulations avec granulats recyclés RB-28 mm (Figure 24, Figure 25, Tableau 7 et Tableau 8). Les valeurs de densité et d'absorption de tous les granulats naturels sont présentées dans le Tableau 9. Par ailleurs, les propriétés de ces granulats sont présentées dans l'Annexe I.



**Figure 24 - Courbes granulométriques du sable pour les mélanges avec granulat recyclé BA-31,5 mm**

**Tableau 7 - Granulométrie moyenne du sable mélangé avec les granulat recyclés BA-31,5 mm**

Tamis (mm)	(% cumulé passant)	(% cumulé passant)	Moyenne de deux mesures (%)
10	100,0	100,0	100,0
5	96,9	96,4	96,7
2,5	85,0	83,4	84,2
1,25	71,5	70,0	70,7
0,63	55,5	54,3	54,9
0,315	30,9	30,0	30,4
0,16	7,6	7,3	7,5
0,08	0,2	0,2	0,2
PLAT	0,04	0,05	0,05

**Figure 25 - Courbe granulométrique du sable mélangé avec les granulates recyclés RB-28 mm**

**Tableau 8 - Granulométrie moyenne pour le sable mélangé avec les granulats recyclés RB-28 mm**

Tamis (mm)	(% cumulé passant)
10	100,0
5	96,1
2,5	86,5
1,25	74,8
0,63	58,1
0,315	34,4
0,16	11,7
0,08	4,5
PLAT	4,3

**Tableau 9 - Densités et absorption des granulats naturels**

Granulat naturel	Densité Brute	Densité SSS	Densité Apparente	Absorption (%)
Granulat gros 10 – 20	2,74	2,75	2,78	0,46
Granulat gros 5 – 14	2,72	2,73	2,75	0,40
Sable béton granulats recyclés BA-31,5 mm	2,65	2,67	2,71	0,90
Sable béton granulats recyclés RB-28 mm	2,64	2,67	2,70	0,86

Les deux types de ciment utilisés pour la préparation des bétons sont le ciment à usage général (GU) et le liant ternaire GUb - S/SF (ciment ternaire contenant du laitier de haut fourneau et de la fumée de silice). Le ciment GU est utilisé à une proportion de 80% de la teneur totale en liant, tandis que le liant ternaire est utilisé à un pourcentage de 20%. Les spécifications techniques et les principales propriétés de ces liants sont présentées dans l'Annexe II.

Pour la préparation des bétons, un agent réducteur d'eau de moyenne portée (Plastol 341) et un agent entraîneur d'air (Eucon AEA 92) sont utilisés. Ce sont des produits fabriqués par Adjuvants Euclid Canada Inc. Les dosages de ces adjuvants sont ajustés selon le taux de remplacement des granulats recyclés pour satisfaire les propriétés ciblées. Les spécifications techniques des additifs utilisés sont présentées dans l'Annexe III.



Les formulations de béton réalisées dans cette recherche sont définies en se basant sur les proportions utilisées par La Ville de Montréal pour la construction des pavages et des trottoirs. La formulation typique du béton est présentée dans le Tableau 10. Cette formulation est employée pour étudier l'effet du taux de remplacement des granulats naturels par les granulats recyclés. Il est important de noter que les valeurs sur fond bleu sont utilisées pour préparer la formulation du béton étudiée dans cette recherche.

**Tableau 10 - Formulation des bétons de pavages et trottoirs utilisé par la Ville de Montréal**

Composantes	Ref2
Teneur en Liant, kg/m <sup>3</sup>	366-360
Ciment GU, kg/m <sup>3</sup>	293-288
Ciment GUb-S/SF, kg/m <sup>3</sup>	73-72
Ciment GU/Liant	0,8
Ciment GUb-S/SF/Liant	0,2
Eau, kg/m <sup>3</sup>	168 -162
E/L	0,46 – 0.45
Gros granulats, kg/m <sup>3</sup>	1010
Gros granulats (10-20 mm), kg/m <sup>3</sup>	523
Gros granulats (5-14 mm), kg/m <sup>3</sup>	487
Sable, kg/m <sup>3</sup>	791
Sable/(gros granulats + sable)	0,44
Masse volumique, kg/m <sup>3</sup>	2330
Agent entraîneur d'air, ml/100 kg	36,93
Réducteur d'eau, ml/100 kg	175

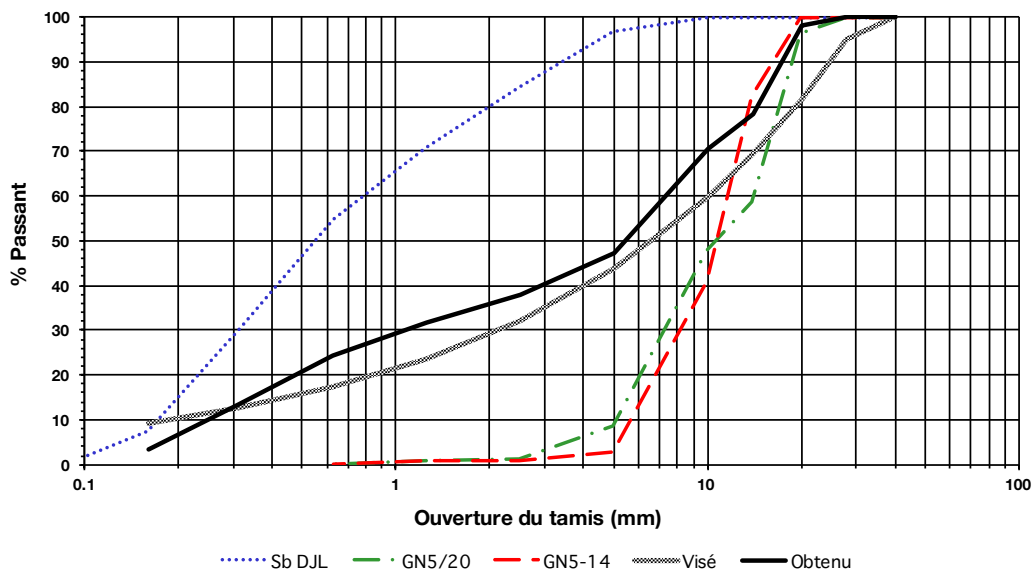
### 3.3 Phase 2 - Propriétés mécaniques du béton

Après avoir déterminé les propriétés des granulats, la procédure de conception des mélanges de béton a été réalisée en utilisant la courbe de Fuller Thompson pour fixer la distribution granulométrique des granulats, en tenant compte des taux de remplacement des granulats recyclés utilisés. Les valeurs d'entrée du modèle d'optimisation sont la densité et la granulométrie de chaque matériau utilisé (gros granulats naturels, sable naturel, granulats recyclés), la proportion globale des gros granulats et des granulats fins ainsi que le diamètre

nominal maximal des granulats recyclés. Les valeurs de sortie sont les pourcentages de chaque type de granulats à utiliser dans la formulation du béton.

Le modèle de Fuller Thompson permet d'optimiser les pourcentages des matériaux à utiliser, par la modification des coefficients de la courbe associée, en cherchant à ajuster les valeurs de la meilleure façon possible pour avoir la courbe idéale. Dans tous les cas, les granulats recyclés sont utilisés en remplacement des gros granulats naturels.

Les figures suivantes montrent les courbes optimisées pour les deux différents types de granulats utilisés (Figure 26 à Figure 38). Les calculs détaillés sont présentés dans l'annexe IV.



**Figure 26 - Optimisation Fuller Thompson pour 0% de granulat recyclé – béton témoin**

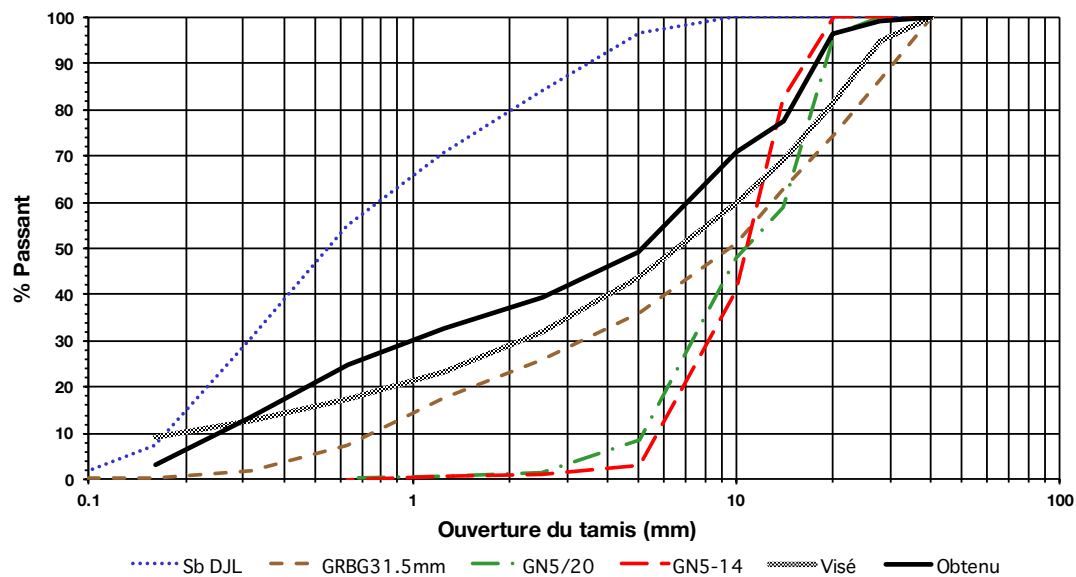


Figure 27 - Optimisation Fuller Thompson pour 10% de granulat recyclé BA-31,5 mm

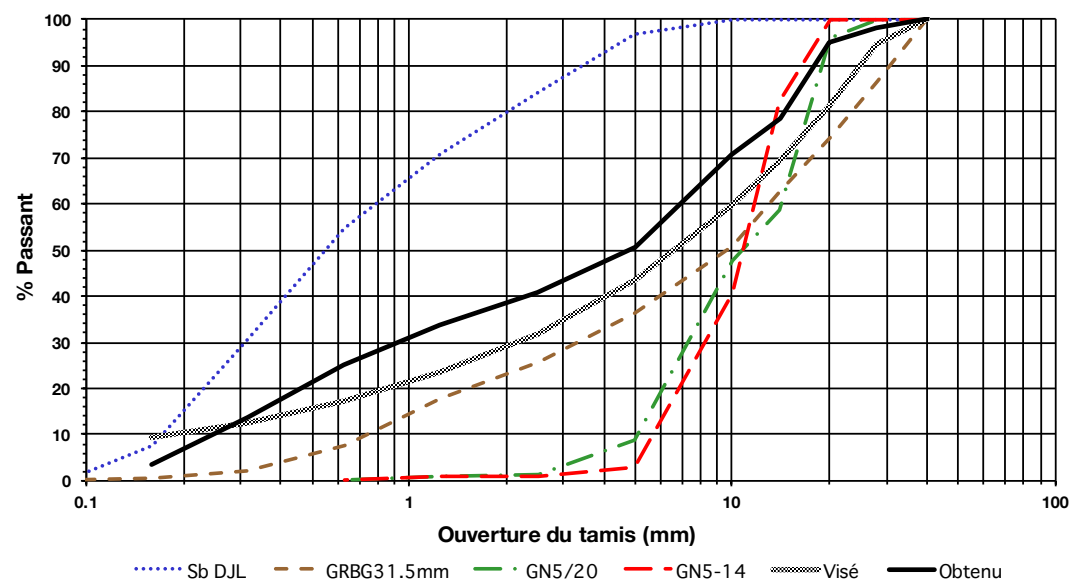


Figure 28 - Optimisation Fuller Thompson pour 20% de granulat recyclé BA-31,5 mm

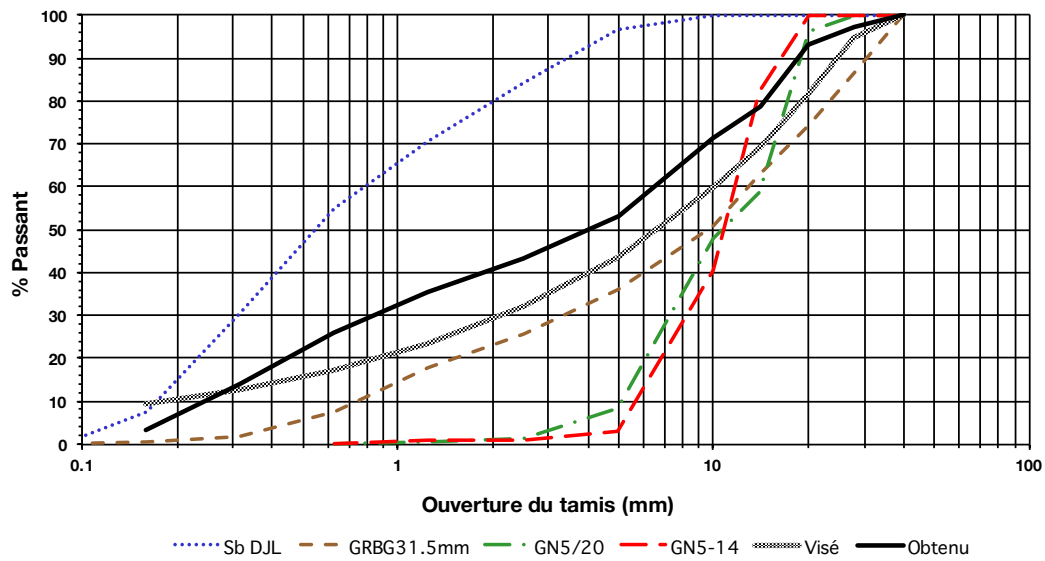


Figure 29 - Optimisation Fuller Thompson pour 35% de granulat recyclé BA-31,5 mm

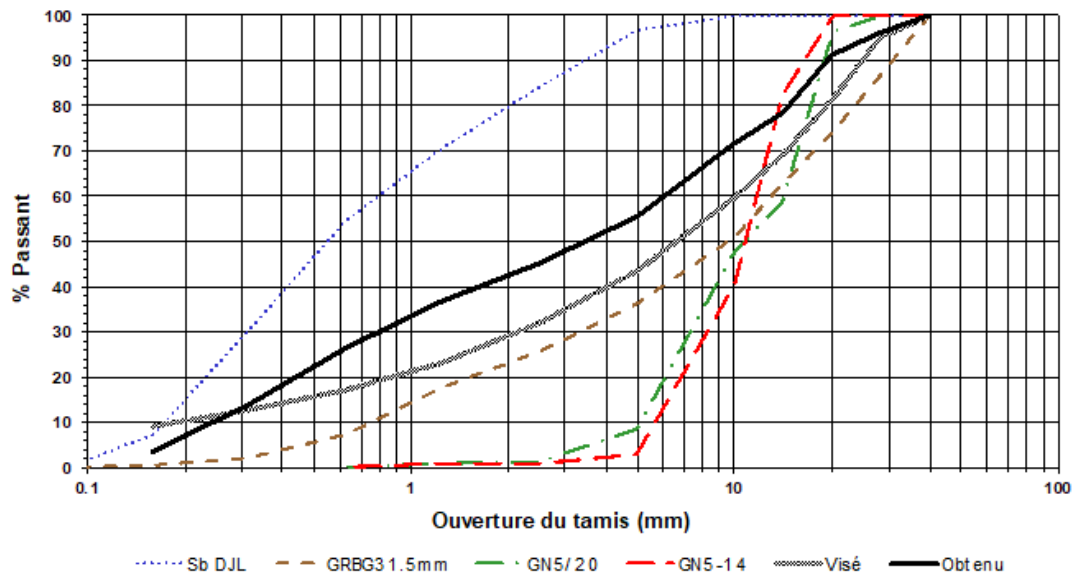


Figure 30 - Optimisation Fuller Thompson pour 50% de granulat recyclé BA-31,5 mm

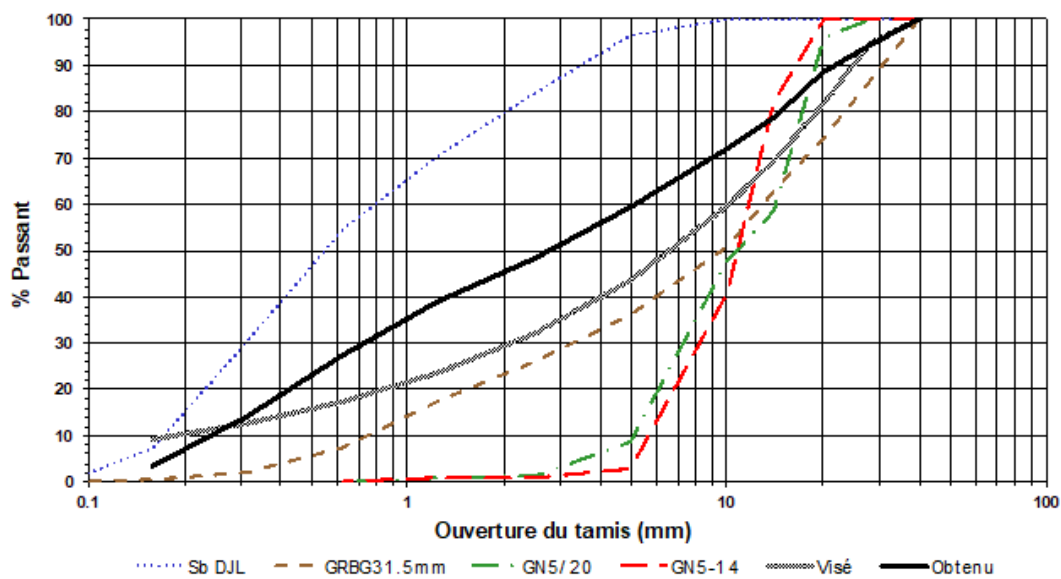


Figure 31 - Optimisation Fuller Thompson pour 75% de granulat recyclé BA-31,5 mm

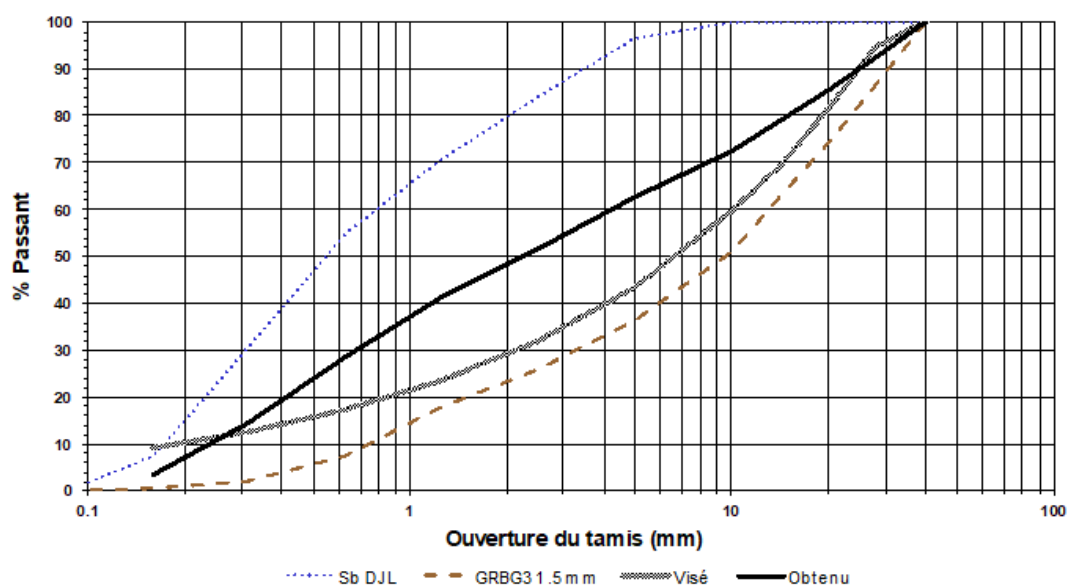


Figure 32 - Optimisation Fuller Thompson pour 100% de granulat recyclé RA-31,5 mm

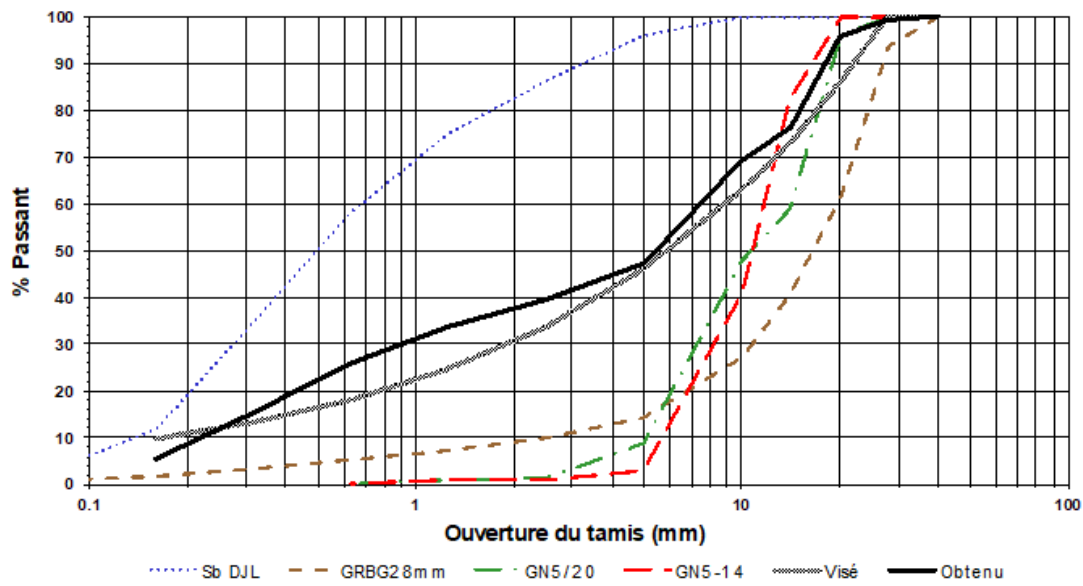


Figure 33 - Optimisation Fuller Thompson pour 10% de granulat recyclé RB-28 mm

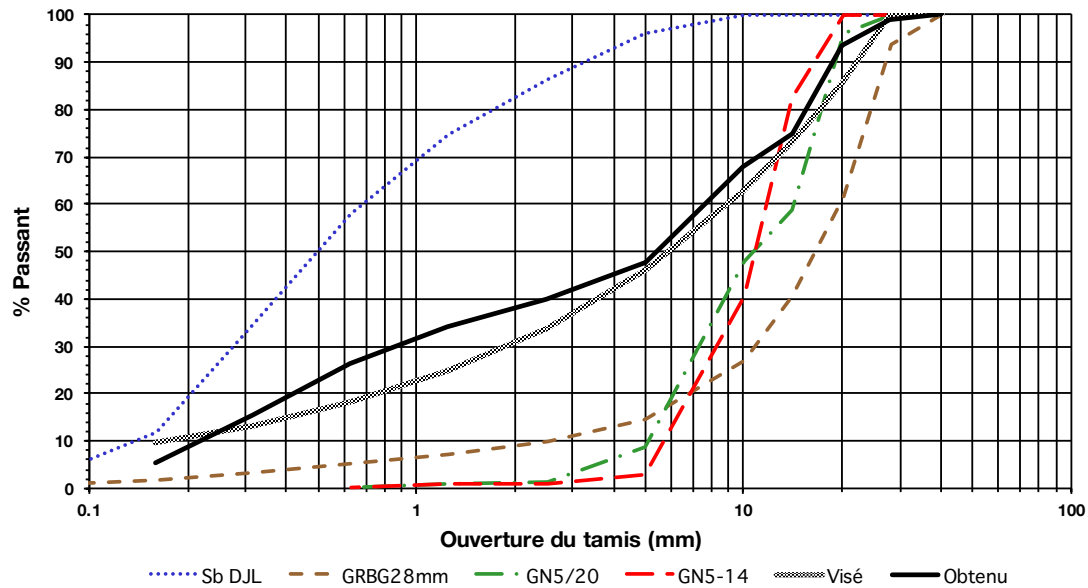
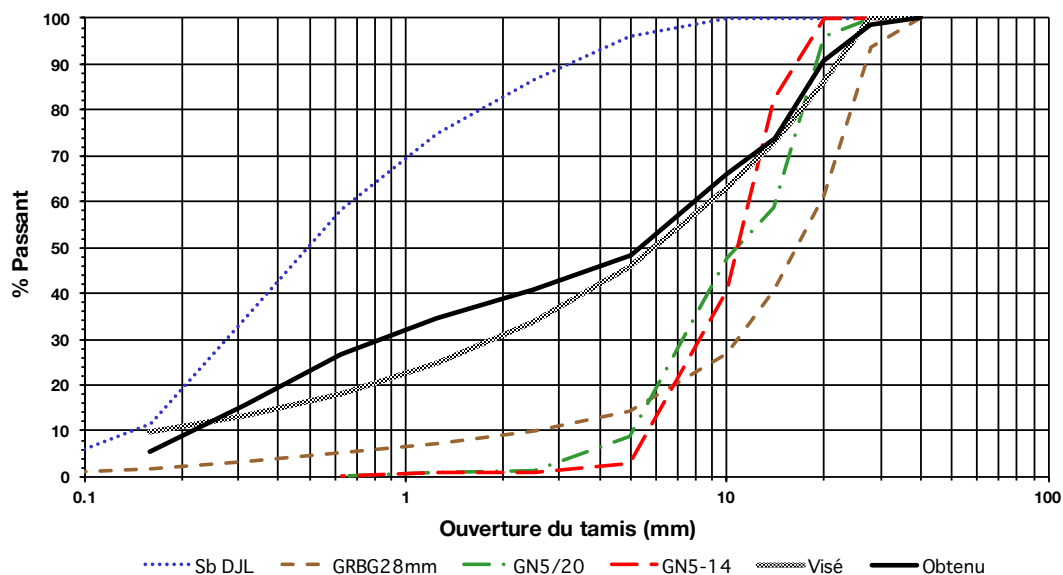
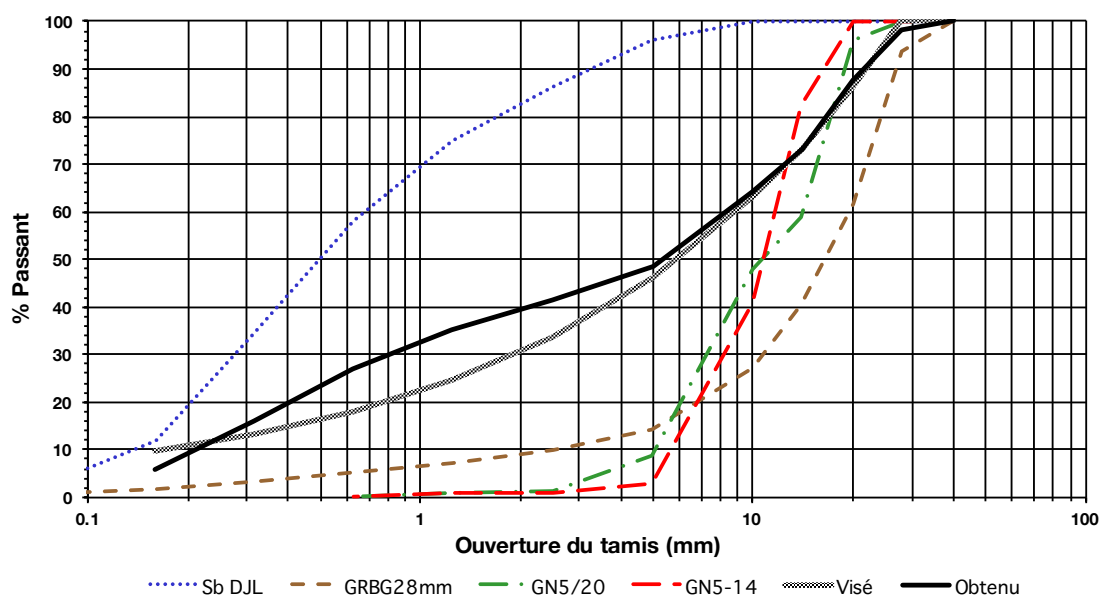


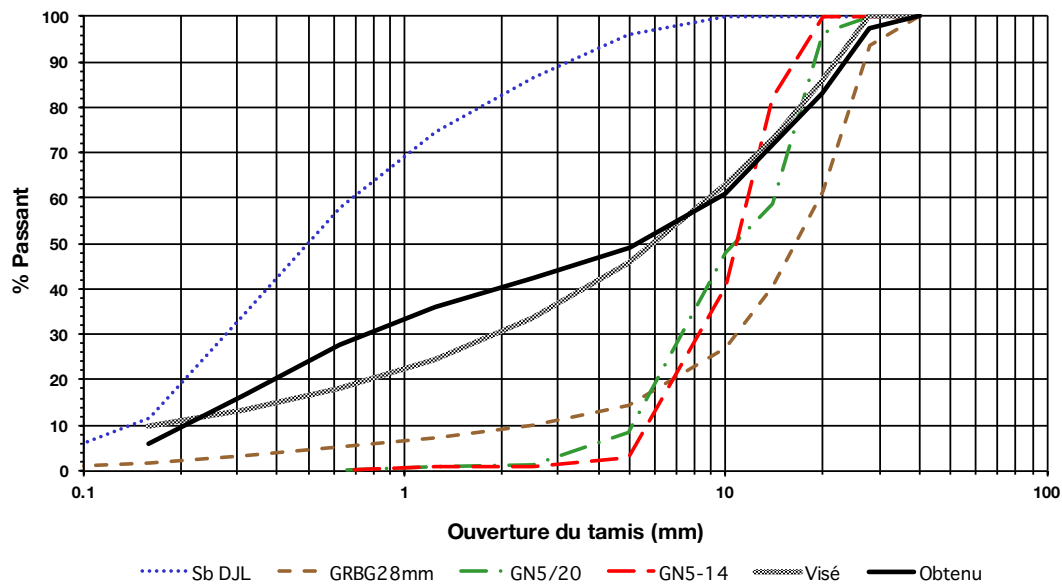
Figure 34 - Optimisation Fuller Thompson pour 20% de granulat recyclé RB-28 mm



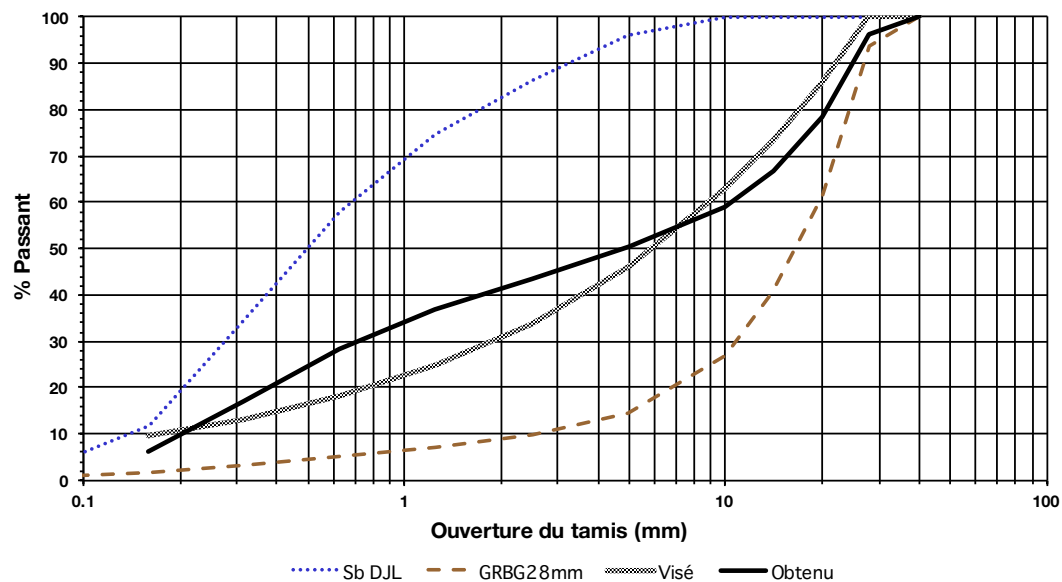
**Figure 35 - Optimisation Fuller Thompson pour 35% de granulat recyclé RB-28 mm**



**Figure 36 - Optimisation Fuller Thompson pour 50% de granulat recyclé RB-28 mm**



**Figure 37 - Optimisation Fuller Thompson pour 75% de granulat recyclé RB-28 mm**



**Figure 38 - Optimisation Fuller Thompson pour 100% de granulat recyclé RB-28 mm**

Une fois les pourcentages de chaque type de granulat sont obtenus, les proportions des mélanges de béton sont établies (détails dans l'annexe V). Dans tous les mélanges, certains paramètres sont fixés pour simuler en laboratoire le béton utilisé par La Ville de Montréal pour la construction des chaussées. Ces variables sont: quantité totale de ciment ( $360 \text{ kg/m}^3$  de béton),



pourcentage de ciment GU (80%), pourcentage de liant ternaire GUb-S/SF (20%), rapport Eau/Liant de 0,45 et la proportion totale des gros granulats ( $1010 \text{ kg/m}^3$  de béton) (Tableau 10).

Les gros granulats naturels utilisés dans cette étude sont dans les fuseaux granulométriques de différentes classes des granulats 5-14 mm, 2.5-10 mm et 5-20 mm. Dans tous les cas, les granulats 2.5-10 mm et 5-20 mm sont utilisés à parties égales dans les proportions obtenues avec le modèle de Fuller Thompson.

La séquence de malaxage utilisée pour la préparation des bétons contenant un certain pourcentage des granulats recyclés présente certaines variations par rapport au malaxage du béton témoin (c'est-à-dire les bétons proportionnés avec 0% de granulats recyclés). Cela était dû au fait qu'on essayait d'établir une méthode de malaxage qui permettrait un temps de mélange plus long et fournirait ainsi une plus grande uniformité lors de l'introduction des granulats recyclés. Le Tableau 11 montre les séquences de malaxage établies pour les deux types de béton.

**Tableau 11 - Séquence de malaxage suivie pour les bétons**

<b>Béton avec granulats naturels</b>	<b>Béton avec granulats recyclés</b>
Ajout de sable et malaxage pendant ½ minute	Ajout de sable et malaxage pendant ½ minute
Ajout de granulat naturel gros et malaxage pendant 1 ½ min	Ajout de granulat naturel gros et malaxage pendant 1 ½ min
Ajout d'agent entraîneur d'air avec une partie de l'eau et malaxage pendant 1 min	Ajout de granulat recyclé et malaxage pendant 1 ½ min
Repos pendant 2 min	Ajout d'agent entraîneur d'air avec une partie de l'eau et malaxage pendant 1 min
Ajout des ciments et malaxage pendant 1 min	Repos pendant 2 min
Ajout de superplastifiant avec une partie de l'eau et malaxage pendant 1 min	Ajout des ciments et malaxage pendant 1 min
Ajout du reste de l'eau et malaxage pendant 2 min	Ajout de superplastifiant avec une partie de l'eau et malaxage pendant 1 min
	Ajout du reste de l'eau et malaxage pendant 4 min

Dans tous les cas, l'eau de gâchage a été divisée en trois parties:  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{1}{6}$  et  $\frac{1}{6}$ . La première partie de  $\frac{1}{6}$  de l'eau a été utilisé pour introduire l'agent entraîneur d'air; la seconde partie de  $\frac{1}{6}$  de l'eau pour introduire le plastifiant et la dernière partie de  $\frac{2}{3}$  de l'eau a été utilisée pendant la dernière phase de malaxage. Cette séquence de malaxage est choisie pour permettre de générer autour des granulats recyclés une zone de transition plus résistante avec un faible rapport E/L. Une fois que les gros granulats et granulats fins sont mélangés, une pâte avec seulement un tiers d'eau de gâchage couvrent les granulats. Dans la dernière phase de malaxage, la quantité d'eau restante est introduite.

**Tableau 12 - Quantités calculées pour le béton avec 35% de granulats recyclés (granulat RB-28 mm)**

**35% GR - Recy Béton (28 mm)**

**Quantités par m<sup>3</sup> de Béton**

	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m <sup>3</sup> )		<b>360</b>
Ciment GU (kg/m <sup>3</sup> )		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m <sup>3</sup> )		72
Ciment GU / Liant		<b>0,8</b>
Ciment GUb-S/SF / Liant		<b>0,2</b>
Eau (kg/m <sup>3</sup> )		<b>162</b>
E/L		<b>0,45</b>
Gros granulats (kg/m <sup>3</sup> )	<b>55,6</b>	<b>1010</b>
GG 10-20 mm (kg/m <sup>3</sup> )	<b>32,6</b>	592,2
GG 5-14 mm (kg/m <sup>3</sup> )	<b>3,6</b>	65,4
GG recyclés 28mm (kg/m <sup>3</sup> )	<b>19,4</b>	352,4
Sable (kg/m <sup>3</sup> )	<b>44,4</b>	807
Sable / (gros granulats + sable)		0,444
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )		2339

**Quantités pour une gâchée de 230 Kg**

	(kg)
Ciment GU	28,3
Ciment GUb-S/SF	7,1
Eau (sans correction)	15,9
Eau (corrigée avec SP et AEA)	15,7
GG 10 mm	29,1
GG 20 mm	29,1
GG 5-14	6,4
G Recyclés	34,7
Sable	79,4
Total	230

Le Tableau 12 montre un exemple des proportions calculées pour les formulations de béton réalisées dans cette étude. Les dosages des constituants des bétons étudiés sont présentés dans l'Annexe V. Pendant la préparation du béton, une correction de l'humidité du sable et des granulats recyclés est effectuée pour maintenir le rapport E/L ciblé. La quantité d'eau contenue

dans les adjuvants est également prise en compte. Pour le besoin de comparaison entre les différentes formulations, le pourcentage des granulats recyclés (fins et gros) incorporés dans la gâchée est resté constant.

Les taux de remplacements des gros granulats naturels par les granulats recyclés sont de 0, 10, 20, 35, 50, 75 et 100%. Les mélanges étudiés dans cette phase de l'étude ont permis d'évaluer les propriétés à l'état frais et les propriétés mécaniques des bétons avec granulats recyclés. Dans le cas des propriétés du béton à l'état frais, l'affaissement, la masse volumique, la température et la teneur en air sont évalués; tandis que les propriétés mécaniques évaluées sont la résistance à la compression, la résistance à la traction, la résistance à la flexion et le module d'élasticité. Ces propriétés sont déterminées à différents âges (Tableau 13).

**Tableau 13 - Essais mécaniques réalisés et nombre d'échantillons utilisés**

Tests mécaniques	Âge des essais (jours)			
	3	7	28	56
Résistance à la compression	3	7	28	56
Résistance à la traction	3	-	28	56
Résistance à la flexion	3	-	28	56
Module d'élasticité	-	-	28	-

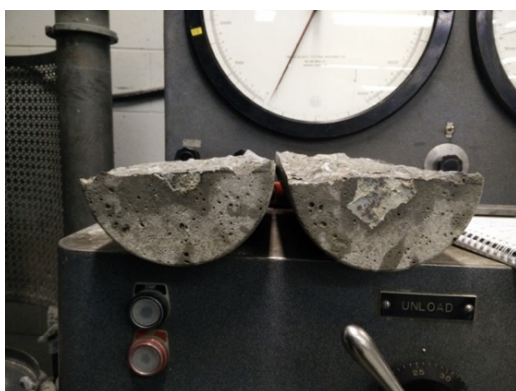
Échantillons des granulats 31,5 mm	3 jours	7 jours	28 jours	56 jours
Résistance à la compression	2 échant.	2 échant.	2 échant.	2 échant.
Résistance à la traction	2 échant.	-	2 échant.	2 échant.
Résistance à la flexion	2 échant.	-	2 échant.	2 échant.
Module d'élasticité	-	-	2 échant.	-
Échantillons des granulats 28 mm	3 jours	7 jours	28 jours	56 jours
Résistance à la compression	3 échant.	3 échant.	3 échant.	3 échant.
Résistance à la traction	3 échant.	-	3 échant.	3 échant.
Résistance à la flexion	3 échant.	-	3 échant.	3 échant.
Module d'élasticité	-	-	2 échant.	-



**Figure 39 - Configuration générale d'essai à la compression**



**Figure 40 - Ruture d'échantillon après l'essai à la compression**



**Figure 41 - Échantillon après l'essai à la traction**



**Figure 42 - Ruture d'échantillon après l'essai à la flexion**

En raison du diamètre nominal maximal des granulats recyclés utilisés et en respectant les directives de la norme CSA établies à cet effet, des cylindres de 150 x 300 mm sont utilisés pour déterminer la résistance à la compression des bétons avec granulats recyclés BA-31,5. Dans le cas de la résistance à la traction, des cylindres de 100 x 200 mm sont utilisés. Par ailleurs, dans le cas des bétons formulés avec les granulats recyclés RB-28 mm, des cylindres de 100 x 200 mm sont utilisés. Des poutres de dimension 100 x 100 x 400 mm sont utilisées pour déterminer la résistance à la flexion. Le Tableau 14 montre les quantités de gâchées pour les deux types de granulat recyclé.

**Tableau 14 - Corps d'épreuves des bétons avec granulats recyclés**

Calcul de quantité de gâchées pour béton formulé avec les granulats recyclés 31,5 mm

	Cylindres				Poutres flexion			Échantillons de plus		Quantité Totale	
	Pour 3 jours	Pour 7 jours	Pour 28 jours	Pour 56 jours	Pour 3 jours	Pour 28 jours	Pour 56 Jours	Cylindres	Poutres	Surplus (10%)	TOTAL
<b>Quantité</b>	2 comp 2 trac	2 comp	2 comp 2 trac 2 module	2 comp 2 trac	2	2	2	1 Petit - 1 Grand	1	10%	-
<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	0,0137	0,0106	0,0243	0,0137	0,0080	0,0080	0,0080	0,0069	0,0040	0,0097	<b>0,1070</b>
<b>Poids (kg)</b>	31,6	24,4	56,0	31,6	18,4	18,4	18,4	15,8	9,2	22,4	<b>246,2</b>
<b>Cylindres compression</b>	150 mm*300 mm	150 mm*300 mm	150 mm*300 mm	150 mm*300 mm	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cylindres traction</b>	100 mm*200 mm	-	100 mm*200 mm	100 mm*200 mm	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cylindres module</b>	-	-	150 mm*300 mm	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>No cylindres</b>	4	2	6	4	-	-	-	2	-	-	-
<b>No poutres</b>	-	-	-	-	2	2	2	-	1	-	-

**Tableau 14 - Corps d'épreuves des bétons avec granulats recyclés (suite)**

Calcul de quantité de gâchées pour béton formulé avec les granulats recyclés 28 mm

	Cylindres				Poutres flexion			Échantillons de plus		Quantité Totale	
	Pour 3 jours	Pour 7 jours	Pour 28 jours	Pour 56 jours	Pour 3 jours	Pour 28 jours	Pour 56 Jours	Cylindres	Poutres	Surplus (20%)	TOTAL
<b>Quantité</b>	3 comp 3 trac	3 comp	3 comp 3 trac, 2 modules	3 comp 3 trac	3	3	3	2 Petit	2	20%	-
<b>Volume (m3)</b>	0,0094	0,0047	0,0126	0,0094	0,0120	0,0120	0,0120	0,0031	0,0080	0,0167	<b>0,1000</b>
<b>Poids (kg)</b>	21,7	10,8	28,9	21,7	27,6	27,6	27,6	7,2	18,4	38,5	<b>230,0</b>
<b>Cylindres compression</b>	100 mm*200 mm	100 mm*200 mm	100 mm*200 mm	100 mm*200 mm	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cylindres traction</b>	100 mm*200 mm	-	100 mm*200 mm	100 mm*200 mm	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cylindres module</b>	-	-	100 mm*200 mm	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>No cylindres</b>	6	3	8	6	-	-	-	2	-	-	-
<b>No poutres</b>	-	-	-	-	3	3	3	-	2	-	-

Afin d'évaluer l'influence de la méthode de malaxage sur les propriétés du béton avec granulats recyclés, un béton supplémentaire est préparé avec des granulats recyclés saturés pendant 24 heures avant leur introduction dans le béton. Ainsi, les granulats sont préparés de manière à ce qu'ils soient dans un état SSS (saturé et superficiellement sec) et la même séquence de malaxage est utilisée (seulement la correction d'humidité n'a pas été faite pour les granulats recyclés). De cette façon, on a cherché à comparer les résultats du mélange préparé en ajoutant de l'eau en différentes parties (et générant une zone de transition plus forte) avec le mélange contenant des granulats recyclés saturés (avec lesquels il n'y avait pas d'absorption d'eau du mélange par le granulat recyclé). Ce processus de comparaison est réalisé pour le béton contenant 35% des granulats recyclés RB-28 mm. Des échantillons de béton sont préparés pour évaluer les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci.

### **3.4 Phase 3 - Durabilité du béton optimisé**

Les travaux réalisés dans la Phase 2 de l'étude a permis d'optimiser deux formulations de béton pour réaliser les essais de durabilité. L'optimisation est réalisée en fonction des performances mécaniques. Au total, 2 différentes formulations de béton sont sélectionnées pour cette étude de durabilité en utilisant les deux types de granulats RB-28 mm et BA-31,5.

Les essais de durabilité réalisés sont la carbonatation, l'abrasion, la perméabilité aux ions chlorures, le changement de longueur du béton durci, l'écaillage et la résistance aux cycles de gel-dégel. Le Tableau 15 montre le nombre d'échantillons et les âges des essais de durabilité réalisés sur les bétons optimisés. Par ailleurs, le Tableau 16 montre les normes utilisées pour la réalisation des essais de durabilité.



**Tableau 15 - Essais de durabilité – période d'exposition dans la chambre carbonatée et nombre d'échantillons évalués**

Tests de durabilité	Age des essais					
	0 semaine	2 semaines	4 semaines	8 semaines	-	20 semaines
<b>Carbonatation</b>						
<b>Abrasion</b>	-	-	4 semaines	-	-	-
<b>Perméabilité aux ions chlore</b>	-	-	4 semaines	-	-	-
<b>Changement de longueur du béton durci</b>	-	-	-	8 semaines	12 semaines	20 semaines
<b>Écaillage</b>	-	-	4 semaines	-	-	-
<b>Gel – dégel</b>	-	-	4 semaines	-	-	-

Échantillons des granulats 31,5 mm et 28 mm	0 semaine	2 semaines	4 semaines	8 semaines	12 semaines	20 semaines
<b>Carbonatation</b>	2 échant.	2 échant.	2 échant.	2 échant.	-	2 échant.
<b>Abrasion</b>	-	-	3 échant.	-	-	-
<b>Perméabilité aux ions chlore</b>	-	-	2 échant.	-	-	-
<b>Changement de longueur du béton durci</b>	-	-	-	3 échant.	3 échant.	3 échant.
<b>Écaillage</b>	-	-	3 échant.	-	-	-
<b>Gel – dégel</b>	-	-	3 échant.	-	-	-

**Tableau 16 - Essais de durabilité des bétons optimisés**

Essai de caractérisation	Norme suivie
Carbonatation	Protocole PrCEN/TS 12390-XXX:2008
Abrasion	ASTM C779-12
Perméabilité aux ions chlore	ASTM C1202-12
Retrait du béton durci	CSA A23.2-21C
Écaillage	ASTM C672M-12
Gel – dégel	ASTM C666M-03

# **CHAPITRE 4 PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS**

## **4.1 Introduction**

Le chapitre suivant présente les résultats obtenus en laboratoire. Une analyse de ces résultats est également présentée. Initialement, les résultats de la caractérisation des granulats recyclés sont présentés. Dans la deuxième partie, les propriétés des bétons à l'état frais et à l'état durci sont présentées. Il s'agit de réaliser une comparaison entre les valeurs des résistances mécaniques obtenues avec des dosages variables en granulats recyclés. Ensuite, le critère utilisé pour la sélection du béton optimisé est expliqué en fonction des valeurs des résistances mécaniques obtenues. Enfin, les résultats des essais de durabilité réalisés sur les bétons optimisés sont présentés et une analyse comparative est effectuée pour déterminer les meilleures options en termes de performance des matériaux évalués.

## **4.2 Phase 1 - Caractérisation des granulats recyclés**

Les résultats de densité, d'absorption et teneur en eau mesurées en laboratoire pour les deux types de granulats utilisés sont présentés dans le Tableau 17. On observe que la partie grossière des deux granulats présente des densités similaires, tandis que la partie fine des granulats de 28 mm présente une densité supérieure. En termes d'absorption, les gros granulats et les granulats fins des matériaux recyclés de 31,5 mm ont une valeur plus élevée par rapport au granulats de 28 mm. Finalement, les résultats de teneur en eau étaient plus élevés pour le granulat recyclé de 31,5 mm, pour les deux fractions grosse et fine. Il convient de noter que bien que la teneur en eau des granulats était mesurée dans la phase initiale du projet, chaque fois qu'on faisait un béton, l'humidité des granulats recyclés a été mesurée afin de corriger plus précisément la proportion d'eau du mélange.

**Tableau 17 - Propriétés des granulats recyclés utilisés**

Granulat	Densité			Absorption (%)	Teneur en eau (%)
	Brute	SSS	Apparente		
Gros granulats 31,5 mm	2,40	2,49	2,64	3,84	3,20
Gros granulats 28 mm	2,40	2,49	2,64	3,79	1,80
Granulat fin 31,5 mm	2,14	2,32	2,62	8,95	5,40
Granulat fin de 28 mm	2,20	2,36	2,63	7,10	2,70

Le Tableau 18 montre le poids et le pourcentage des différentes fractions des granulats naturels, des granulats avec enrobé de ciment et des granulats avec enrobé bitumineux obtenues en laboratoire pour les granulats recyclés. La classification a été faite par une inspection visuelle de chacune des particules des granulats et leur attribution dans l'une des trois catégories. Pour cela, le granulat a été soumis à l'avance à un processus de lavage sur le tamis 5 mm pour éliminer les particules fines. Par la suite, l'échantillon retenu sur le tamis est séché à l'aide d'un chiffon pour atteindre l'état SSS. Ce processus a facilité l'établissement de la classe de chacun des particules des granulats par inspection visuelle et analyse de la couleur du matériau.

**Tableau 18 - Type de granulat recyclé utilisé**

Granulat 28 mm					
	Granulat naturel	Granulat avec enrobé du ciment	Granulat avec enrobé bitumineux	TOTAL	Classification
Poids (g)	1018,2	1477,9	289,2	2785,3	MR-2
Pourcentage	36,6	53,1	10,4	100,0	
Granulat 31,5 mm					
	Granulat naturel	Granulat avec enrobé du ciment	Granulat avec enrobé bitumineux	TOTAL	Classification
Poids (g)	926,7	1548,4	332,5	2807,6	MR-2
Pourcentage	33,0	55,2	11,8	100,0	

On observe que les deux types de granulat entrent dans la catégorie MR-2 tel que spécifié dans le bulletin d'information technique N° 3 [Marquis et al., 1998], le Devis Technique Normalisé 6VM-20 pour des travaux routiers [Ville de Montréal, 2008] et la norme NQ2560-600.

### 4.3 Phase 2 - Résultats sur béton : Propriétés à l'état frais et à l'état durci

Pour la formulation des bétons, des exigences techniques ont été établies. Le dosage en superplastifiant est ajusté pour assurer un affaissement de  $80 \pm 30$  mm et  $120 \pm 30$  mm. De plus, conformément aux critères établis dans la norme CSA concernant la teneur en air, pour un béton dont la dimension maximale des granulats est comprise entre 20 mm et 40 mm, la teneur en air du mélange doit être entre 4 et 7%. En tenant compte de ces variables et de la conception de mélange préétablie, les bétons ont été formulés et préparés en laboratoire.

Le Tableau 19 présente les propriétés à l'état frais du béton avec des granulats recyclés de 31,5 mm et de 28 mm. Les températures des bétons étudiés sont comprises entre 20,5 et 25,5 °C, alors les teneurs en air et les affaissements sont dans les intervalles des valeurs préétablies.

**Tableau 19 - Propriétés à l'état frais des bétons**

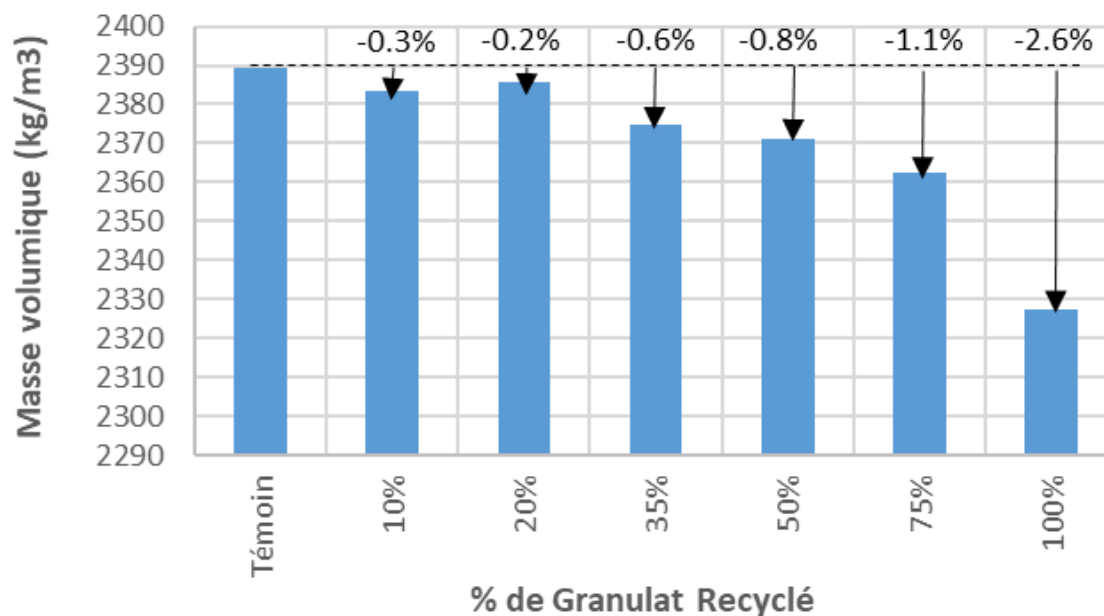
**Granulats recyclés 31,5 mm**

Béton	Témoin	10% GR	20% GR	35% GR	50% GR	75% GR	100% GR
Pourcentage d'air (%)	6,8	5,0	7,0	5,5	5,0	5,0	6,2
Température (°C)	23,0	24,5	24,7	24,4	25,4	25,0	25,5
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	2389	2384	2386	2375	2371	2362	2328
Affaissement (mm)	130	120	130	90	90	125	125

**Granulats recyclés 28 mm**

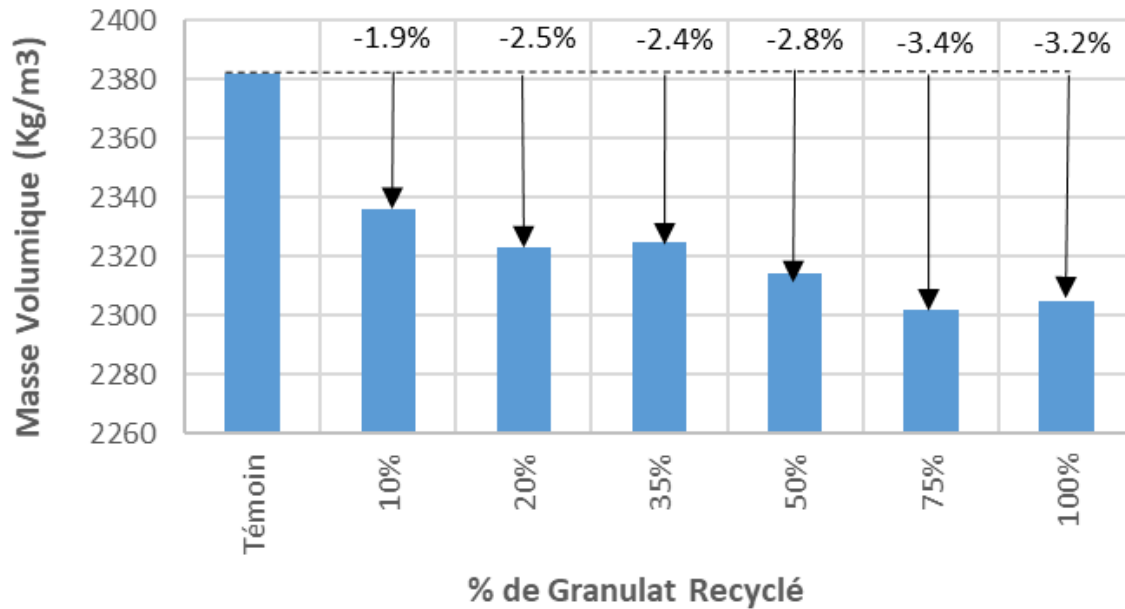
Béton	Témoin	10% GR	20% GR	35% GR	50% GR	75% GR	100% GR	35% GR SATURÉ
Pourcentage d'air (%)	5,4	5,7	6,5	6,0	6,2	5,6	7,0	5,2
Température (°C)	23,2	22,0	22,0	21,8	20,9	22,0	20,5	23,4
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	2382	2336	2323	2325	2314	2302	2305	2290
Affaissement (mm)	120	140	150	110	95	135	140	105

Dans le cas de la masse volumique du béton à l'état frais, la Figure 43 et Figure 44 présentent les résultats pour les différents pourcentages de remplacement des granulats recyclés utilisés (granulats de 31,5 et 28 mm).



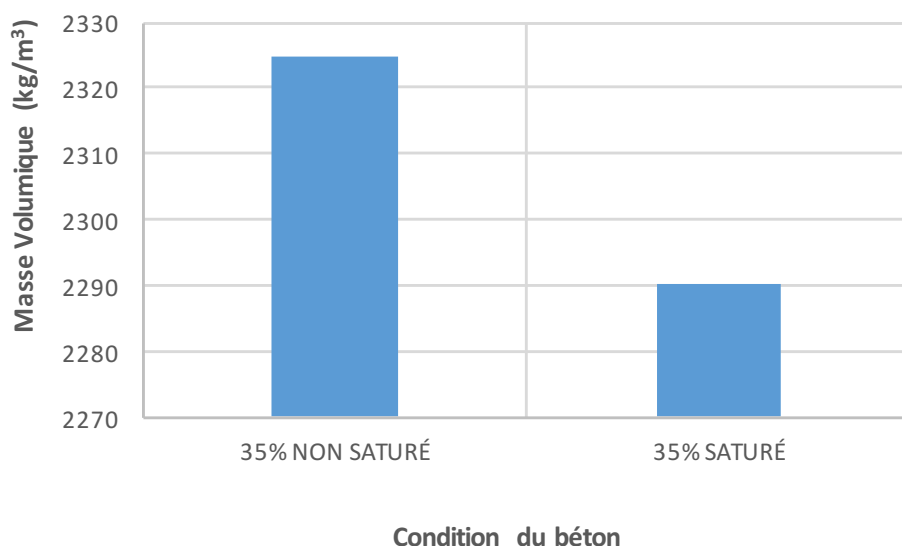
**Figure 43 - Masse volumique du béton frais en fonction du taux du pourcentage des granulats recyclés de 31,5 mm**

On observe que pour les deux types de granulats, il y a une diminution de la masse volumique du béton avec l'augmentation de pourcentage des granulats recyclés. Ceci est probablement dû à la porosité des granulats recyclés qui est relativement plus importante que celle des granulats naturels. Cependant, la diminution de la masse volumique devient plus grande avec les granulats recyclés de 28 mm. Dans ce cas, la diminution maximale est 3,2%, tandis que pour les formulations proportionnées avec les granulats de 31,5 mm, la diminution maximale est de 2,6%. L'une des hypothèses qui découle de ce comportement est probablement la teneur en particules fines recyclées qui est plus importante pour le granulat de 31,5 mm. Cela pourrait entraîner une plus grande répartition des particules fines dans le mélange, et ce qui résulte en une plus faible diminution de la masse volumique dans les bétons de 31,5 mm par rapport à ceux de 28 mm.



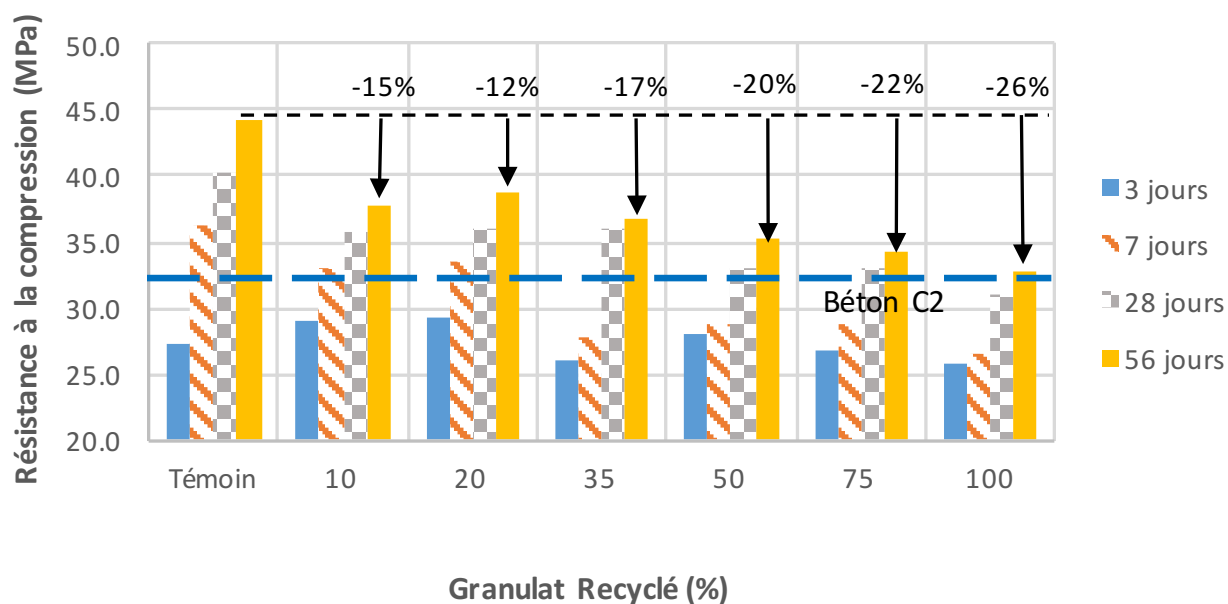
**Figure 44 - Masse volumique du béton frais en fonction du pourcentage des granulats recyclés de 28 mm**

La Figure 45 présente des valeurs de masse volumique pour le béton contenant 35% des granulats recyclés de 28 mm à l'état saturé et à l'état non saturé. Il est observé que la masse volumique du béton formulé avec les granulats recyclés saturés diminue de 1,5% par rapport à celle du béton avec granulats non saturés.

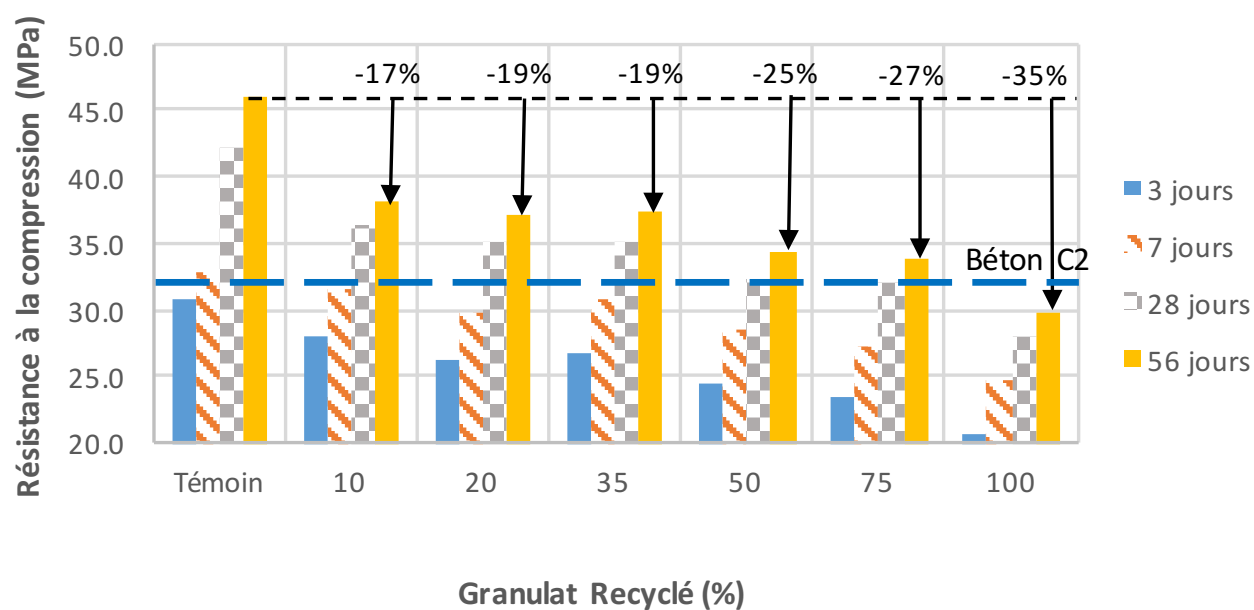


**Figure 45 - Masse volumique du béton contenant 35% des granulats recyclés de 28 mm – états saturé et non saturé**

La Figure 46 et Figure 47 présentent les résultats des résistances à la compression obtenus pour les deux types de granulats recyclés utilisés. Dans le cas des granulats de 31,5 mm, on remarque une diminution progressive de la résistance à la compression avec l'augmentation de la teneur en granulats recyclés dans le mélange. Ce comportement devient plus évident à 28 et 56 jours d'âge du béton, puisque pour les premiers âges et surtout pour la résistance de 3 jours, les valeurs ne montrent pas de tendance nette. La diminution de la résistance avec des remplacements inférieurs à 35% est inférieure à 20%, tandis que pour les remplacements plus importants, les pertes de résistance sont supérieures à 20%. Pour le cas le plus critique, c'est-à-dire 100% de granulat recyclé utilisé, une diminution de la résistance à la compression de 26% par rapport au béton témoin est observée.



**Figure 46 - Variation de la résistance à la compression avec le taux de remplacement des granulats recyclés de 31,5 mm**



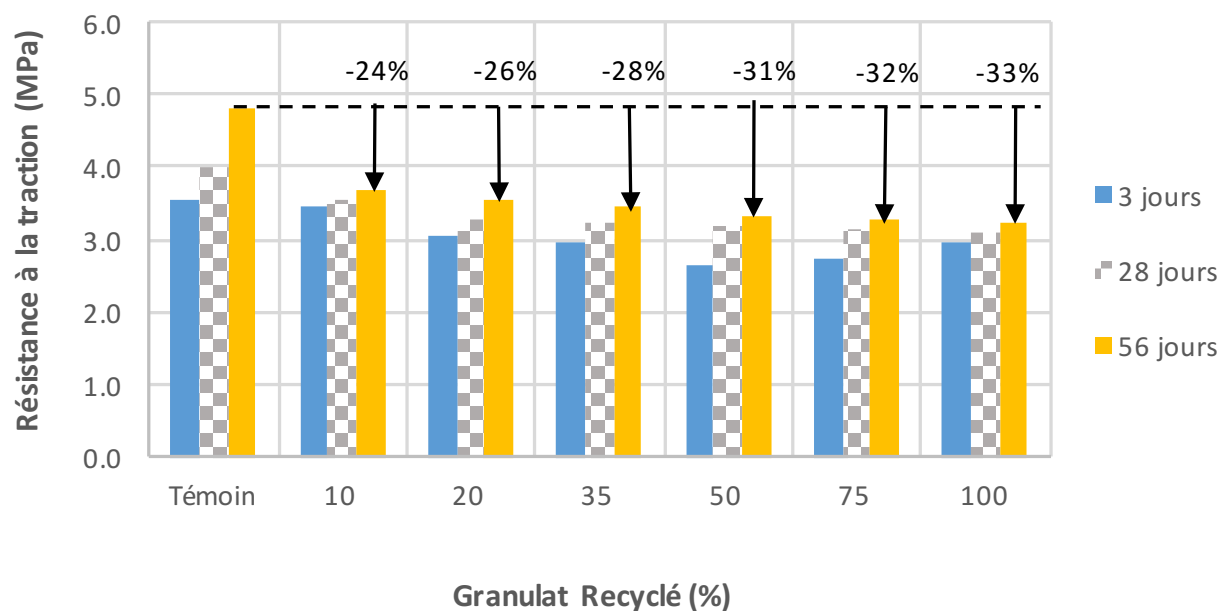
**Figure 47 - Variation de la résistance à la compression avec le taux de remplacement des granulats recyclés de 28 mm**



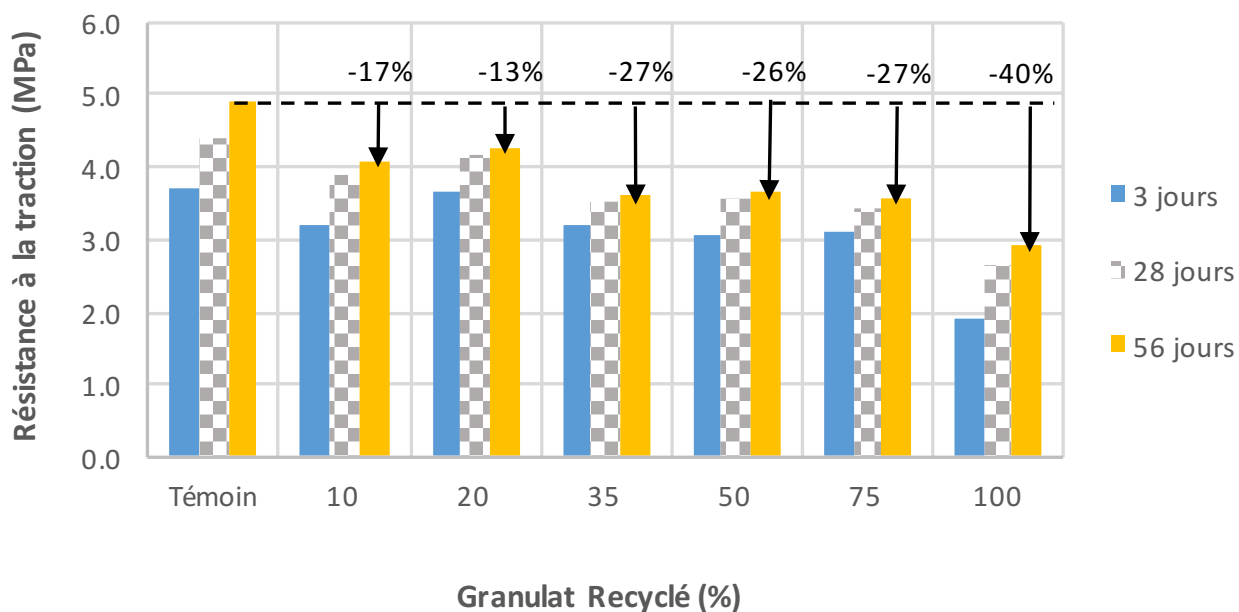
Pour les granulats de 28 mm, il y a également une diminution de la résistance à la compression avec l'augmentation du taux de remplacement des granulats recyclés. Par rapport aux mélanges de 31,5 mm, les valeurs montrent une tendance beaucoup plus claire entre 3 jours et 56 jours d'âge du béton. On observe que pour les remplacements inférieurs à 35% des granulats recyclés, la diminution de la résistance à la compression est inférieure à 20%; tandis que pour les taux de remplacements supérieures, la diminution de la résistance est supérieure à 20%. Par exemple, la réduction de la résistance à la compression est de 35% dans le cas du béton contenant 100% des granulats recyclés. Les résultats obtenus de résistance à la compression sont présentés à l'Annexe VI.

Dans la plupart des bétons évalués, la résistance à la compression à 28 jours est égale ou supérieure à 32 MPa (valeur établie dans la norme CSA comme résistance pour le béton des pavages et trottoirs - un béton de classe d'exposition C-2).

La Figure 48 et Figure 49 montrent la variation des résistances au fendage (traction) avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés dans le béton. Pour les deux types de granulat, une diminution de la résistance à la traction est observée avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés. Dans le cas des bétons fabriqués avec les granulats de 31,5 mm, la diminution de la résistance à la traction est inférieure à 30% pour des taux de remplacements inférieurs à 35%; tandis que pour des remplacements supérieurs, la diminution de la résistance à la traction est supérieure à 30%. En général, la diminution de la résistance à la traction est significative dans le cas des échantillons testés à 28 et 56 jours d'âge du béton.



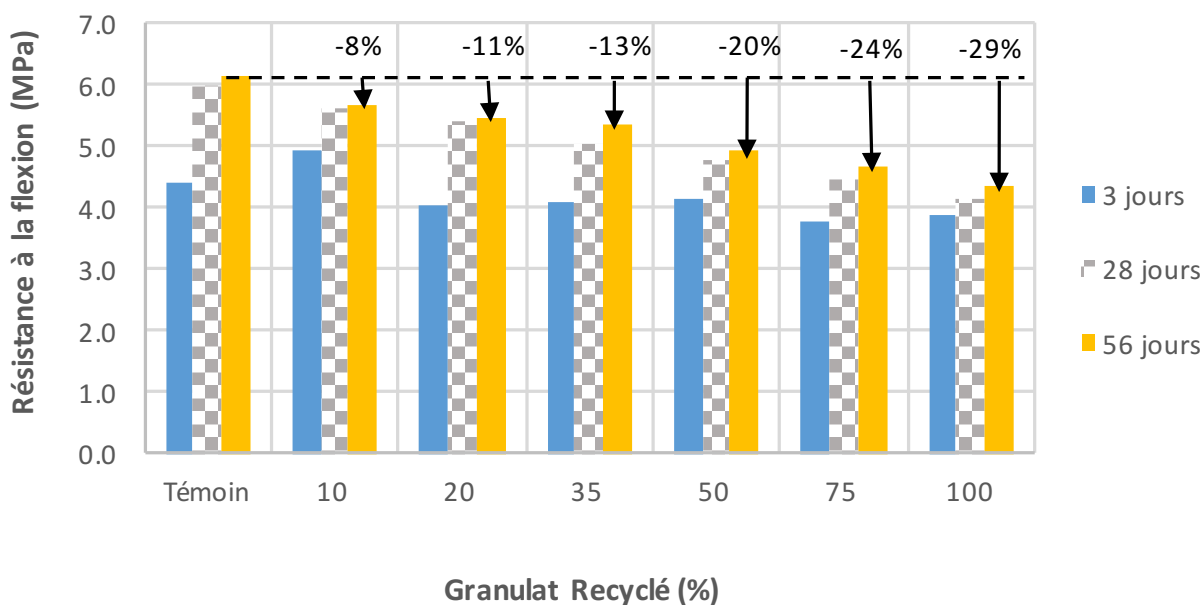
**Figure 48 - Variation de la résistance à la traction avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés de 31,5 mm**



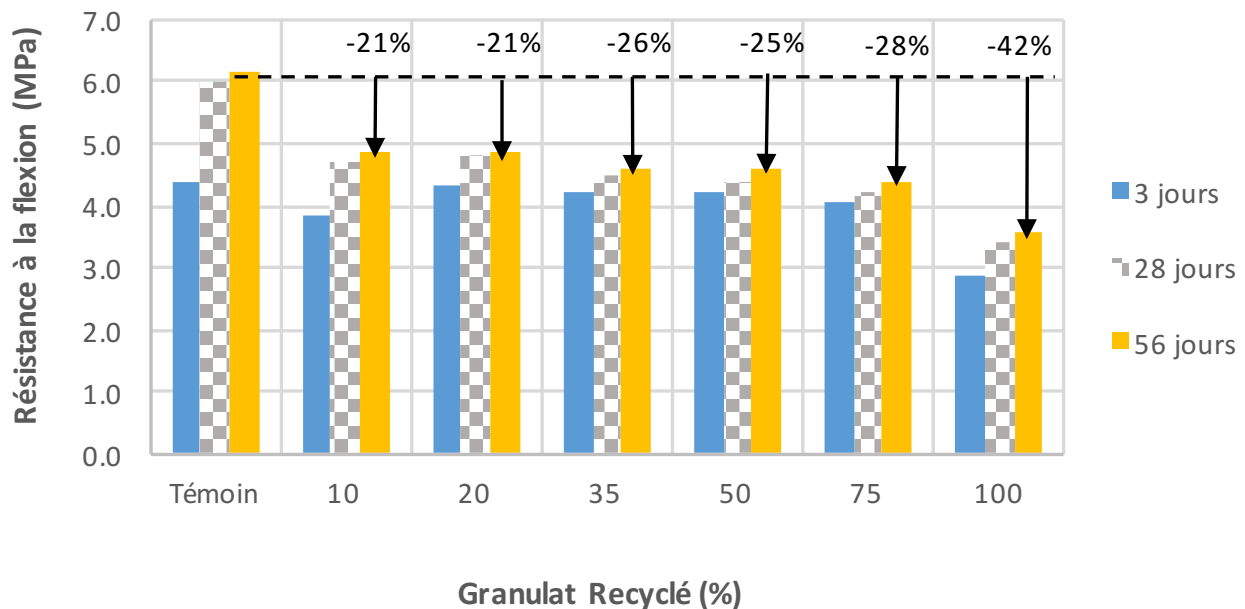
**Figure 49 - Variation de la résistance à la traction avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés de 28 mm**

Dans le cas des bétons proportionnés avec les granulats de 28 mm, les diminutions de la résistance à la traction sont comprises entre 13% et 27% pour des taux de remplacement inférieures à 35%. Cependant, dans le cas de béton proportionné avec 100% de granulats recyclés, une réduction de 40% de la résistance à la traction est observée. Comme dans le cas du béton fabriqué avec le granulat de 31,5 mm, une diminution de la résistance à la traction avec l'augmentation de la teneur en granulats recyclés est observée, notamment à 28 et 56 jours d'âge du béton. Les résultats de la résistance à la traction obtenus sont présentés à l'annexe VI.

La Figure 50 et Figure 51 montrent la variation des résistances à la flexion avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés. Comme avec les propriétés présentées ci-dessus, on observe une diminution de la résistance à la flexion avec le taux de remplacement des granulats recyclés. Dans le cas des bétons proportionnés avec les granulats de 31,5 mm, les diminutions des résistances à la flexion se situent entre 8% et 13% pour des taux de remplacement inférieurs à 35%. Pour les taux de remplacement supérieurs à 35%, les réductions de la résistance à la flexion sont comprises entre 20% et 29% par rapport au béton témoin.



**Figure 50 - Variation de la résistance à la flexion avec le pourcentage des granulats recyclés de 31,5 mm**



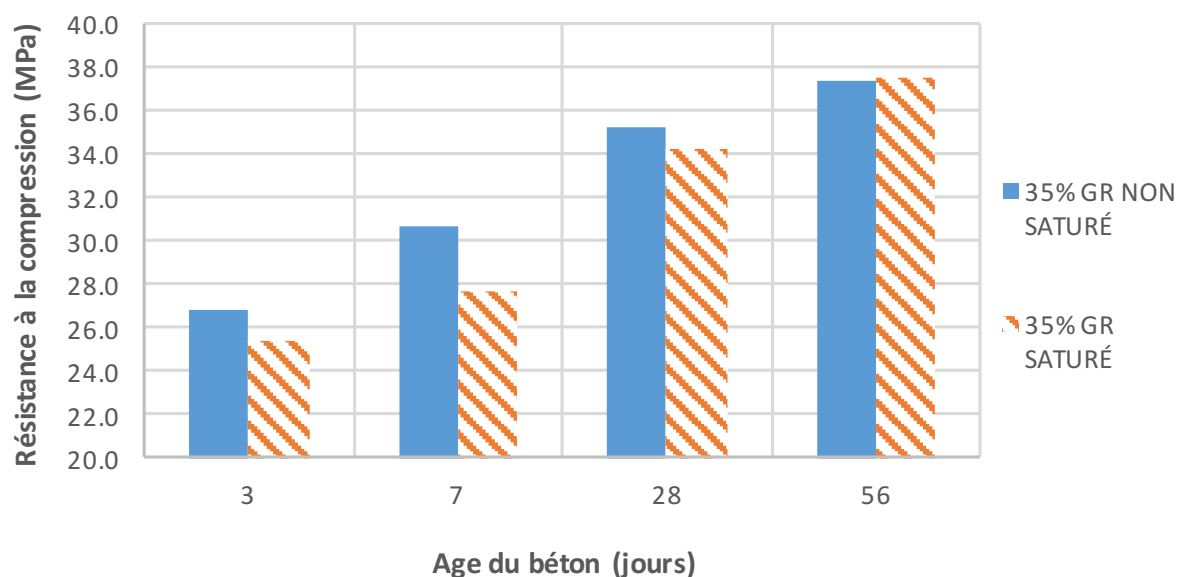
**Figure 51 - Variation de la résistance à la flexion avec le pourcentage des granulats recyclés de 28 mm**

Dans le cas des bétons proportionnés avec le granulat recyclé de 28 mm, les réductions de la résistance à la flexion sont comprises entre 20% et 30% pour les taux de remplacement inférieures à 75%. Dans le cas des bétons proportionnés avec 100% de granulats recyclés, la diminution de la résistance à la flexion est de 42% par rapport au béton témoin. Les résultats des résistances à la flexion obtenus sont présentés à l'annexe VI.

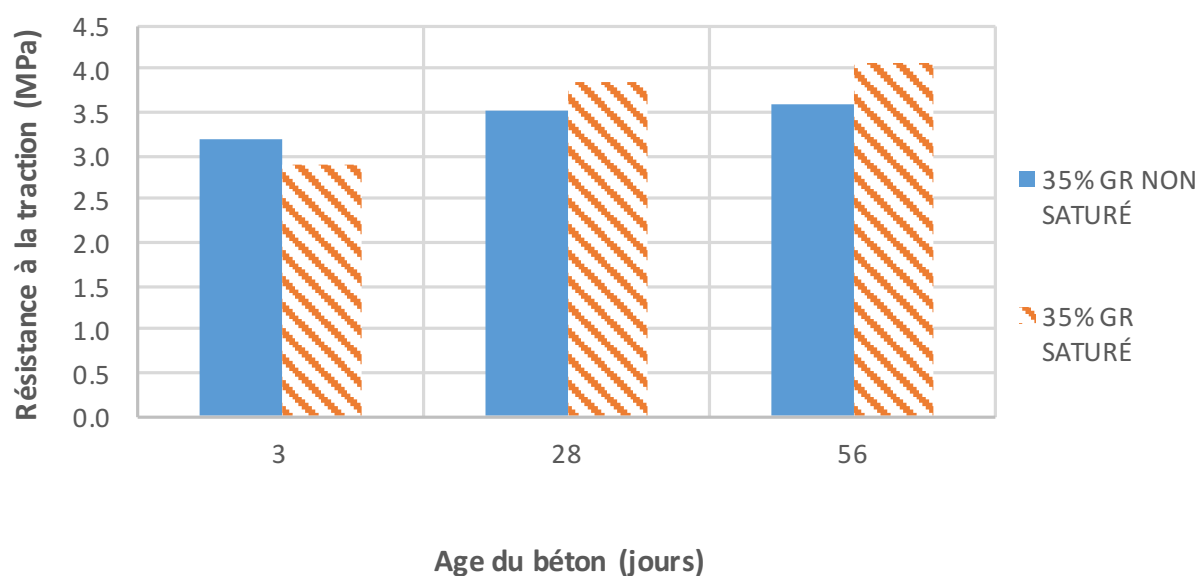
La Figure 52 à la Figure 54 montrent la variation de la résistance à la compression, la résistance à la traction et la résistance à la flexion du béton proportionné avec 35% des granulats recyclés de 28 mm dans des conditions saturées et non saturées, pour différents âges du béton. On observe qu'à un jeune âge du béton (3 et 7 jours), la résistance à la compression est plus grande pour le béton contenant les granulats non saturés. Cependant, à mesure que l'âge du béton augmente, la différence entre les deux bétons diminue, alors qu'à 56 jours, la résistance à la compression du béton saturé est légèrement supérieure à celle du béton non saturé (0,5% plus élevé).

Les résistances à la traction sont inférieures à 3 jours pour le béton saturé; mais à 28 et à 56 jours, le béton saturé développe des résistances à la traction supérieures au béton non saturé de

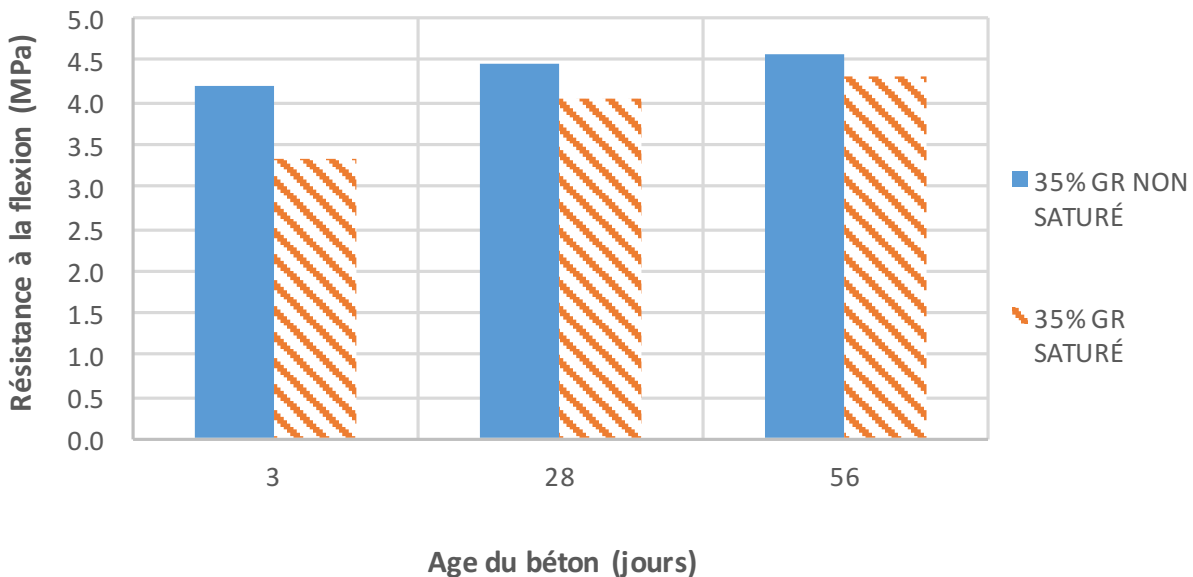
10% et 13% respectivement. Finalement, à tous les âges évalués, les résistances à la flexion du béton non saturé sont supérieures (26% plus grande pour 3 jours, 10% pour 28 jours et 6% pour 56 jours). Les résultats obtenus montrent que la différence entre les propriétés mécaniques du béton saturé et non saturé diminue avec l'augmentation de l'âge du béton.



**Figure 52 - Variation de la résistance à la compression avec l'âge du béton proportionné avec 35% des granulats recyclés de 28 mm dans des conditions saturée et non saturée**



**Figure 53 - Variation de la résistance à la traction avec l'âge du béton proportionné avec 35% des granulats recyclés de 28 mm dans des conditions saturées et non saturées**

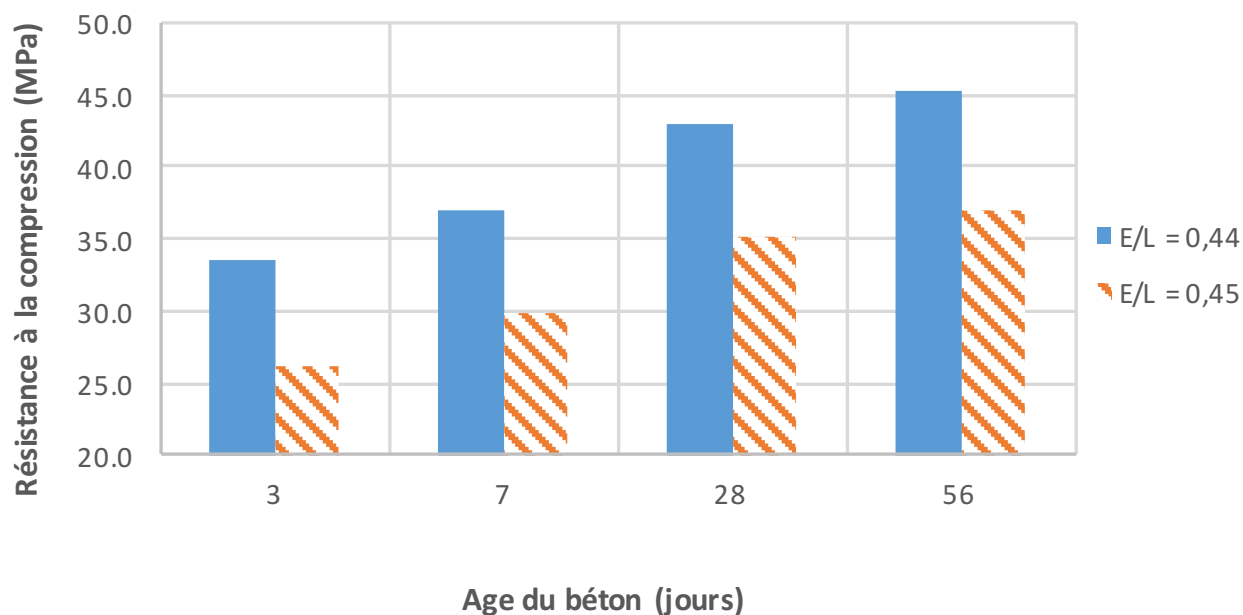


**Figure 54 - Variation de la résistance à la flexion avec l'âge du béton proportionné avec 35% des granulats recyclés de 28 mm dans des conditions saturées et non saturées**

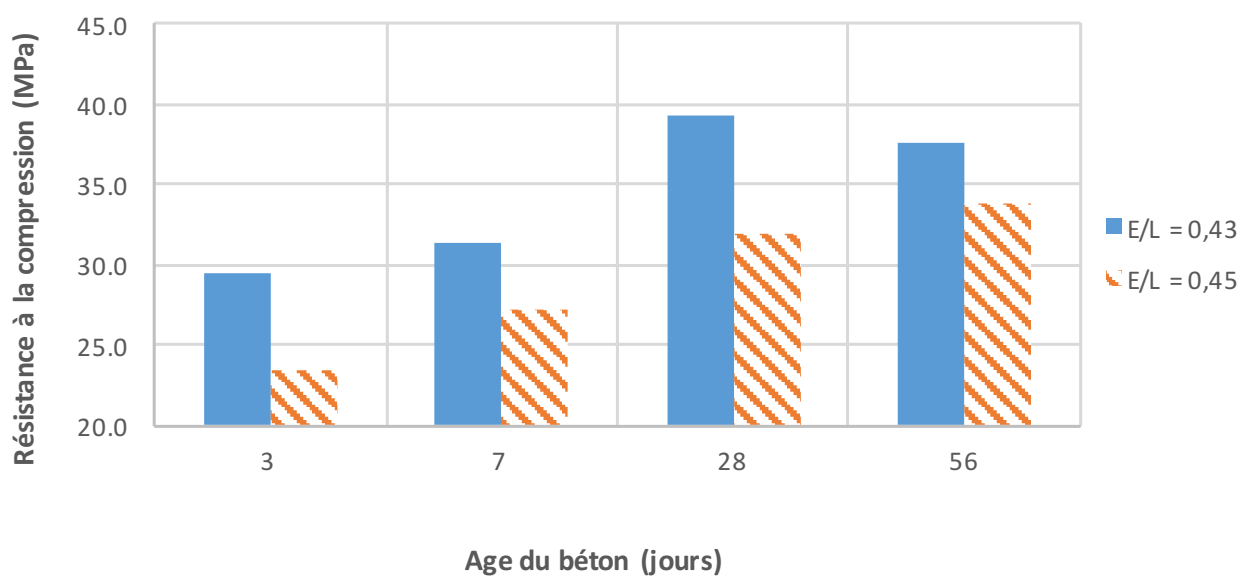
Les résultats obtenus pour les bétons proportionnés avec les granulats recyclés saturés et non saturés montrent qu'il n'y a pas une grande différence entre les valeurs des propriétés mécaniques. Ceci est dû au fait que le mûrissement a été fait de la même manière pour les deux types de béton (mûris dans la chambre humide), de sorte que dans les deux conditions, le matériau subit le même processus d'hydratation et d'augmentation progressive de résistance. Il est très probable que des résultats différents auraient été obtenus si le processus de mûrissement des échantillons avait été effectué à l'air libre, puisque pour cette condition le béton avec granulats saturés aurait plus d'eau disponible pour l'hydratation, ce qui engendrerait un développement des résistances plus important.

Afin de comprendre les variables influençant les propriétés mécaniques des bétons formulés avec les granulats recyclés, des essais additionnels ont été réalisés. Pour ce faire, des formulations de béton sont préparées avec différents rapports E/L et des teneurs en particules fines recyclées variables. La Figure 55 et Figure 56 montrent les résistances à la compression avec l'âge pour les bétons proportionnés avec différents rapports E/L (0,43, 0,44 et 0,45). Par

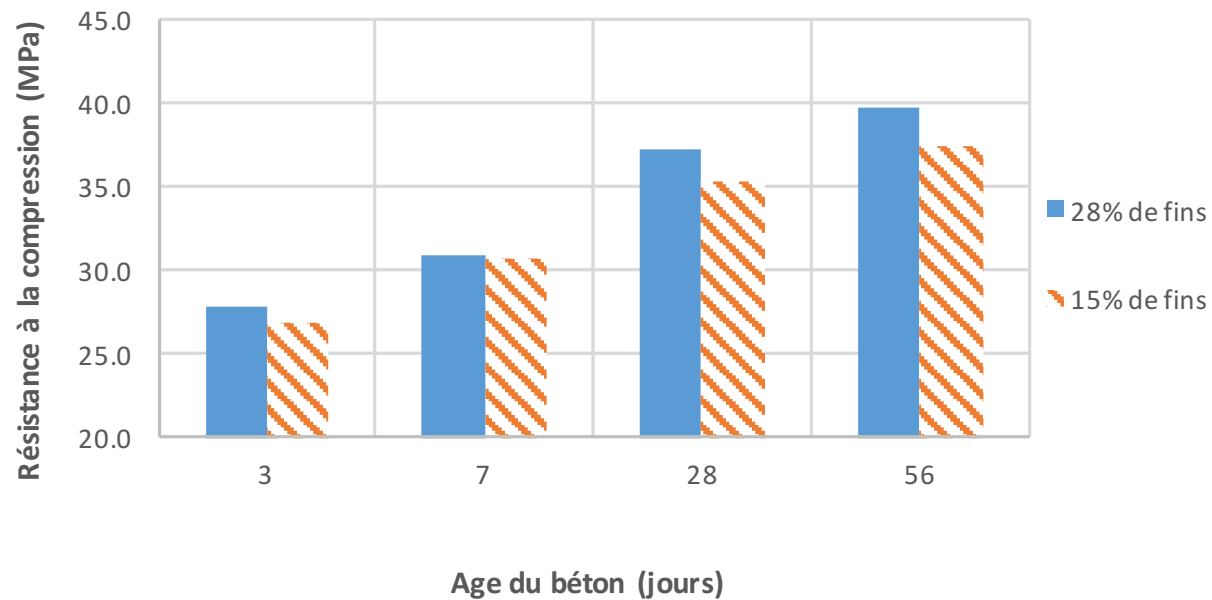
ailleurs, la Figure 57 et Figure 58 montrent la résistance à la compression des bétons proportionnés avec deux différentes teneurs en fines recyclées de 28% et 15%.



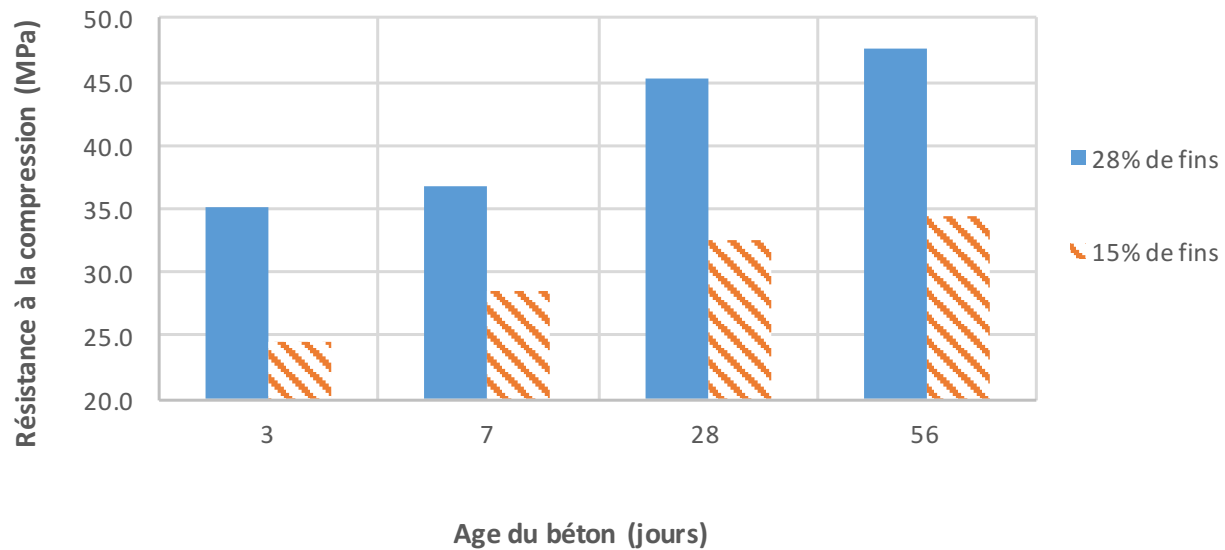
**Figure 55 - Variation de la résistance à la compression avec l'âge du béton formulé avec 20% des granulats recyclés et différents rapports E/L**



**Figure 56 - Variation de la résistance à la compression avec l'âge du béton formulé avec 75% des granulats recyclés et différents rapports E/L**



**Figure 57 - Variation de la résistance à la compression avec l'âge du béton proportionné avec 35% des granulats recyclés et différentes teneurs en particules fines recyclées**



**Figure 58 - Variation de la résistance à la compression avec l'âge du béton proportionnée avec 50% des granulats recyclés et différentes teneur en particules fines recyclées**

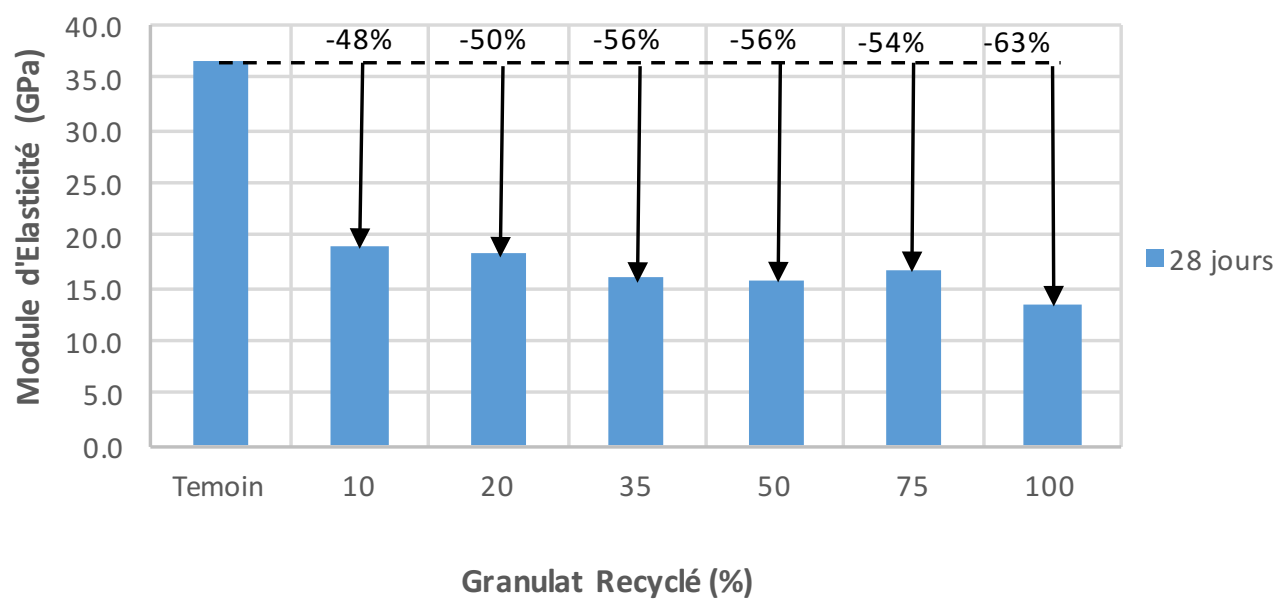
Tel qu'attendu, les résistances à la compression obtenues sont plus élevées pour les rapports E/L de 0,44 et 0,43 et des teneurs en granulats recyclés de 20% et 75% respectivement, pour tous



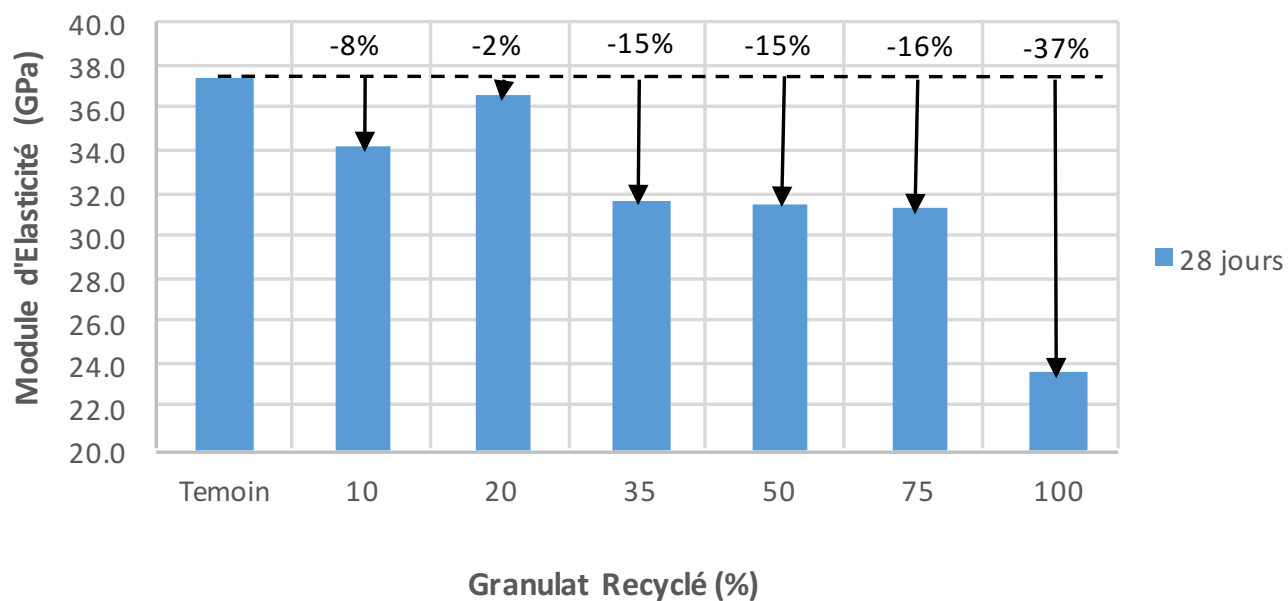
les âges du béton. Pour le béton formulé avec différents pourcentages de fines recyclées, on observe que le béton formulé avec une plus grande teneur en fines (28%) développe des résistances plus importantes. Pour un pourcentage total des granulats recyclés inférieur à 35%, l'influence de la teneur des fines recyclées sur la résistance devient plus faible par rapport à une teneur en granulats recyclés de 50%.

Pour expliquer l'augmentation de la résistance à la compression du béton avec l'augmentation de la quantité de fines recyclées, les hypothèses suivantes sont considérées. D'une part, cela peut être dû au fait que la partie fine des granulats recyclés contient des particules de ciment non hydratés qui réagissent dans le nouveau béton et contribuent de manière importante à l'augmentation de la résistance mécanique du matériau. Il se peut également que la portlandite provenant du mortier résiduel des granulats recyclés réagisse avec les ajouts cimentaires du nouveau béton pour créer d'autres C-S-H, ce qui contribue à augmenter la résistance. D'autre part, cela peut être dû au fait que la densité du béton augmente avec une teneur plus élevée en fines recyclées, ce qui contribue à la compacité béton et à la résistance à la compression du béton.

La Figure 59 et la Figure 60 montrent la variation du module d'élasticité des bétons avec le pourcentage de remplacement des deux différents granulats recyclés. On observe que pour tous les bétons étudiés, il y a une diminution du module d'élasticité avec l'augmentation du pourcentage des granulats recyclés. Dans le cas des bétons proportionnés avec les granulats recyclés de 31,5 mm, il y a une diminution notable du module d'élasticité pour des taux de remplacement au-delà de 10% (une réduction de 48%). Cependant, à mesure que les pourcentages de remplacement des granulats recyclés augmentent, les modules d'élasticité diminuent progressivement pour atteindre une diminution de 63%, la diminution la plus importante. Dans le cas des bétons formulés avec les granulats recyclés de 28 mm, la diminution du module d'élasticité est inférieure ou égale à 15% pour des pourcentages de remplacement compris entre 10% et 35%; tandis que pour les remplacements plus élevés, la diminution du module d'élasticité est comprise entre 15% et 37%. Annexe VII montre les valeurs des modules d'élasticité obtenus pour tous les bétons étudiés.

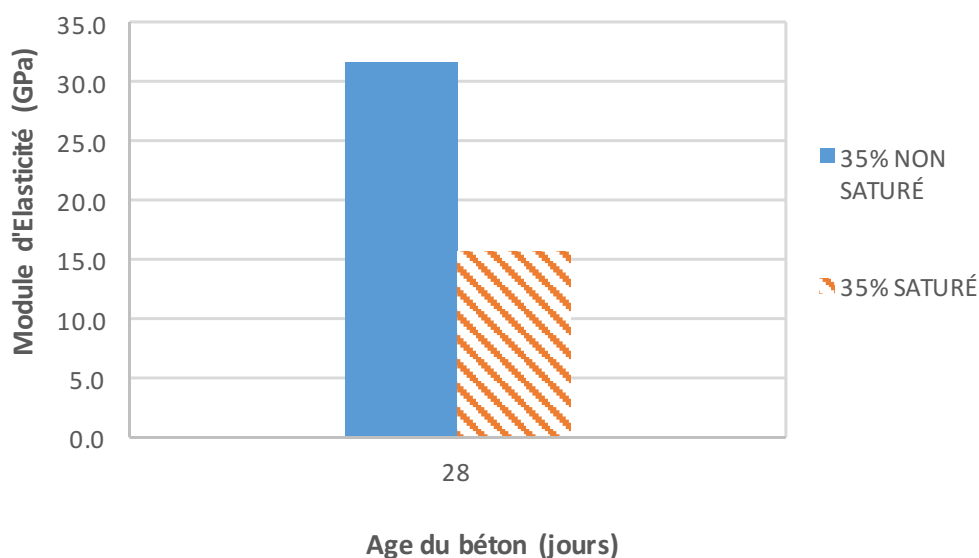


**Figure 59 - Variation du module d'élasticité avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés de 31,5 mm**



**Figure 60 - Variation du module d'élasticité avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés de 28 m**

La Figure 61 montre la variation du module d'élasticité des bétons proportionnés avec 35% des granulats recyclés de 28 mm dans des conditions saturées et non saturées. Les résultats montrent une diminution de 50% du module d'élasticité dans le cas des granulats recyclés saturés par rapport au béton formulé avec les granulats recyclés non saturés. Bien que la résistance à la compression du béton fait avec les granulats recyclés saturés ne soit pas grandement affectée par rapport au béton proportionnée avec les granulats recyclés non saturés, il y a une perte significative du module d'élasticité du béton à 28 jours dans le cas des granulats recyclés saturés. Ce comportement est probablement dû à l'augmentation du rapport E/L dans le cas des granulats recyclés saturés au début du processus de malaxage.



**Figure 61 - Variation du module d'élasticité avec l'âge du béton proportionnée avec 35% des granulats recyclés de 28 mm en conditions saturée et non saturée**

#### 4.4 Bétons optimisés

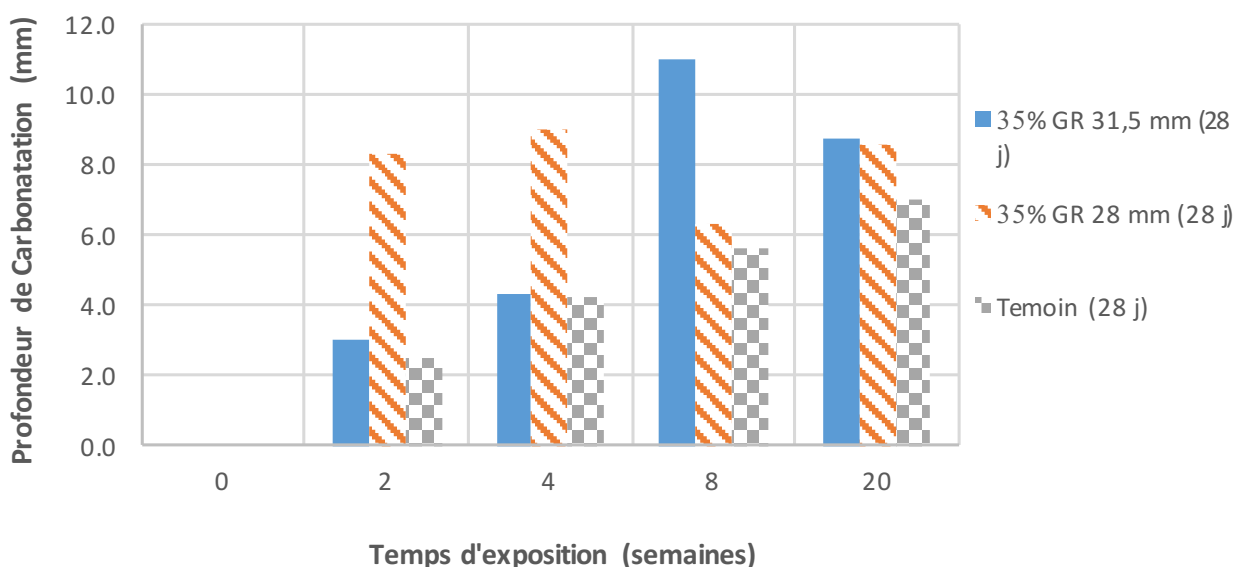
En se basant sur les résistances mécaniques obtenues, le béton formulé avec 35% de granulats recyclés est sélectionné pour réaliser les essais de durabilité en considérant les deux types des granulats recyclés, c'est-à-dire le 31,5 mm et le 28 mm. Dans le cas du béton formulé avec 35% des granulats recyclés de 31,5 mm, la perte de résistance à la compression est inférieure à 20% par rapport au béton témoin, contrairement à des pourcentages de remplacement plus élevés.

Dans le cas de la résistance à la traction, la perte est inférieure à 30%, alors que celle de la résistance à la flexion est inférieure à 15%. En ce qui concerne le module d'élasticité, on constate une diminution importante par rapport au béton témoin de 56%. Cependant, une perte similaire est obtenue pour tous les pourcentages évalués, même dans le cas du béton avec 10% de granulats recyclés, pour lequel il y a une diminution de 48% du module d'élasticité.

D'autre part, les résultats obtenus sur le béton proportionné avec 35% de granulats recyclés de 28 mm montrent une diminution de la résistance à la compression de moins de 20% par rapport au béton témoin. Par ailleurs, les résistances à la traction et à la flexion sont réduites de 30%, alors que le module d'élasticité est réduit de moins de 15%. Bien que les diminutions des résistances à la traction et à la flexion du béton proportionné avec 35% de granulats recyclés soient similaires pour le béton avec 50% et 75% de granulats recyclés, la résistance à la compression diminue de manière plus importante pour des remplacements de granulats recyclés supérieurs à 35%. En tenant compte de ces propriétés, le béton proportionné avec 35% de granulats recyclés a été sélectionné pour réaliser les essais de durabilité.

## **4.5 Phase 3 - Essais de durabilité**

La Figure 62 montre les résultats du profil de carbonatation des deux bétons formulés avec 35% des granulats recyclés de 31,5 et 28 mm par rapport au béton témoin. Dans ce cas, les 3 bétons ont subi un mûrissement de 28 jours dans la chambre de mûrissement (humidité relative de 100%) et 2 semaines de séchage à l'air avant de débiter les essais de carbonatation.

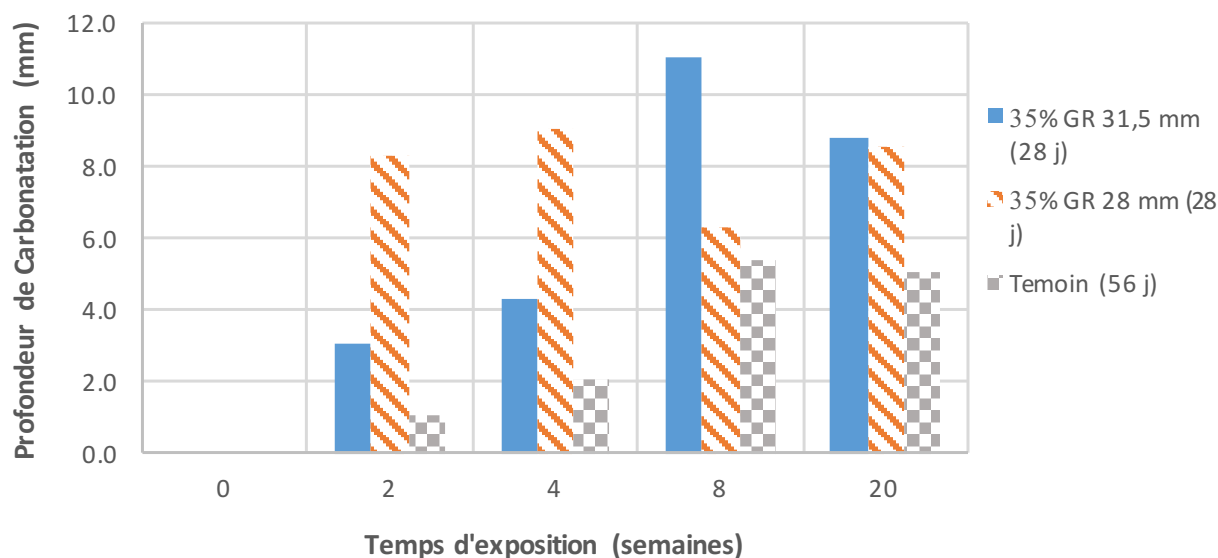


**Figure 62 - Profil de carbonatation en fonction de la période d'exposition pour le béton mûri pendant 28 jours**

On observe que pendant les 4 premières semaines, le béton formulé avec les granulats recyclés de 28 mm a les plus grandes valeurs de profil de carbonatation (environ 9 mm de profondeur), tandis que le béton témoin et le béton formulé avec le granulat recyclé de 31,5 mm ont des valeurs de profil de carbonatation proches de 4 mm. Après 8 semaines d'exposition, les valeurs les plus élevées sont obtenues avec le béton contenant le granulat recyclé de 31,5 mm (11 mm). Finalement, après 20 semaines d'exposition, les bétons recyclés ont des valeurs de profil de carbonatation similaires (environ 9 mm), mais légèrement supérieur que celui du béton témoin (7 mm). La différence entre les profils de carbonatation des deux bétons recyclés après 20 semaines d'exposition est de 2,9%, alors que la différence entre le béton témoin et le béton recyclé est en moyenne de 23%.

La Figure 63 présente les résultats de carbonatation des bétons recyclés en comparaison avec le béton témoin, mais qui a eu un temps de mûrissement de 56 jours et 2 semaines de séchage à l'air avant son exposition aux conditions de carbonatation. Tel qu'attendu, la carbonatation de ce béton témoin mûri pendant 56 jours est inférieure à celle du béton témoin mûri pendant seulement 28 jours. L'hydratation prolongée du béton réduit ainsi sa porosité et contribue à réduire son carbonatation. La différence entre les résultats obtenus pour les bétons recyclés et

le béton témoin dans ce cas est de 72% en moyenne. Le Tableau 20 montre les résultats obtenus pour tous les bétons et les âges évalués.



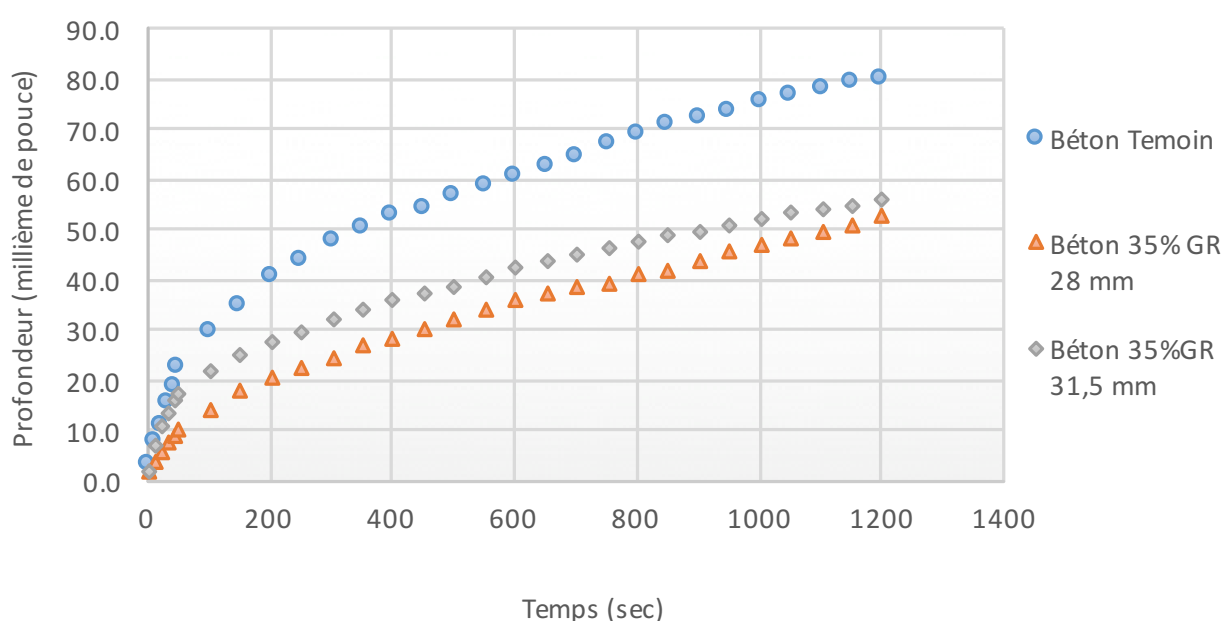
**Figure 63 - Profil de carbonatation en fonction de la période d'exposition du béton témoin mûri pendant 56 jours**

**Tableau 20 - Profondeurs de carbonatation (en mm) pour les bétons évalués**

Mélange	Période d'évaluation de carbonatation (semaines)				
	0 semaines	2 semaines	4 semaines	8 semaines	20 semaines
35% GR 31,5 mm (28 j)	0,0	3,0	4,3	11,0	8,8
35% GR 28 mm (28 j)	0,0	8,3	9,0	6,3	8,5
Témoin (56 j)	0,0	1,0	2,0	5,4	5,0
Témoin (28 j)	0,0	2,5	4,3	5,6	7,0

Il est important de noter que pour les jeunes âges d'évaluation, les profils de carbonatation obtenus n'étaient pas uniformes sur les surfaces évaluées, tandis que pour les âges plus avancés, le profil montre plus d'uniformité sur toute la longueur de l'échantillon. C'est pour cette raison que les résultats de la carbonatation à des âges plus avancés sont plus représentatifs du comportement réel du béton.

Le Tableau de Annexe VIII montre les valeurs d'abrasion obtenues sur le béton témoin et les deux bétons recyclés. La Figure 64 présente les résultats moyens de la profondeur d'abrasion par rapport au temps d'essai pour les trois bétons évalués. On observe que les valeurs de profondeur d'abrasion les plus élevées ont été obtenues pour le béton sans granulats recyclés, suivi du béton recyclé de 31,5 mm puis du béton recyclé de 28 mm. Il est important de noter que la différence entre les profondeurs d'abrasion entre les deux bétons recyclés est plus faible, comparée à la différence entre les profondeurs d'abrasion du béton témoin et des bétons recyclés.



**Figure 64 - Profondeur d'abrasion (en millièmes de pouce ou mils) en fonction du temps d'essai pour les trois bétons évalués**

Les résultats finaux de l'essai d'abrasion ont montré une profondeur moyenne d'abrasion pour le béton de contrôle de 80 mils (millièmes de pouce), tandis que pour les bétons avec les granulats recyclés de 31,5 mm et de 28 mm, les profondeurs sont respectivement de 56 et 53 mils. D'une part, l'augmentation de la profondeur d'abrasion du béton témoin par rapport au béton contenant le granulat recyclé de 31,5 mm est de 44%. D'autre part, l'augmentation de la profondeur d'abrasion du béton témoin par rapport au béton contenant le granulat recyclé de 28 mm est de 51%. Une des hypothèses pour expliquer ce comportement (déjà mentionné par [Matias et al,

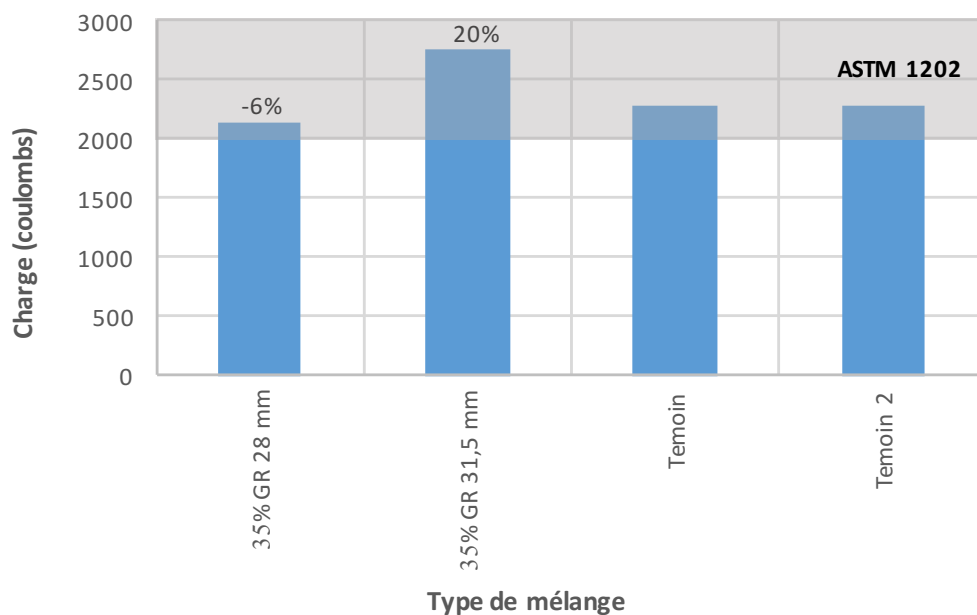
2013]) est que l'augmentation de la résistance à l'abrasion du béton recyclé pourrait être due à une meilleure adhérence entre les granulats recyclés et la nouvelle pâte de ciment.

Le Tableau 21 montre les valeurs de perméabilité aux ions chlorure obtenues pour deux bétons témoins et les deux bétons proportionnés avec les granulats recyclés de 31,5 et 28 mm. La Figure 65 présente les valeurs moyennes de la charge en Coulombs des bétons étudiés. On observe que le béton ayant la plus grande perméabilité aux ions chlorure est celui qui a été formulé avec le granulat recyclé de 31,5 mm. Ce dernier présente une augmentation de 20% par rapport à la valeur moyenne correspondant au béton témoin. Le béton proportionné avec les granulats recyclés de 28 mm présente une diminution de la perméabilité de 6% par rapport à la moyenne du béton témoin. Malgré cette variation observée avec les bétons contenant les granulats recyclés, tous les bétons évalués (témoins et recyclés) entrent dans la même catégorie de perméabilité modérée (bande gris sur la Figure 65), conformément à la classification établie par la norme ASTM 1202 pour le niveau de perméabilité aux ions chlorure.

**Tableau 21 - Perméabilité aux ions chlorure des bétons étudiés**

Béton	Charge (coulombs)		Moyenne (coulombs)
35% GR 28 mm	2365	1929	2147
35% GR 31,5 mm	3077	2430	2753
Témoin	2652	1928	2290
Témoin 2	2564	2000	2282



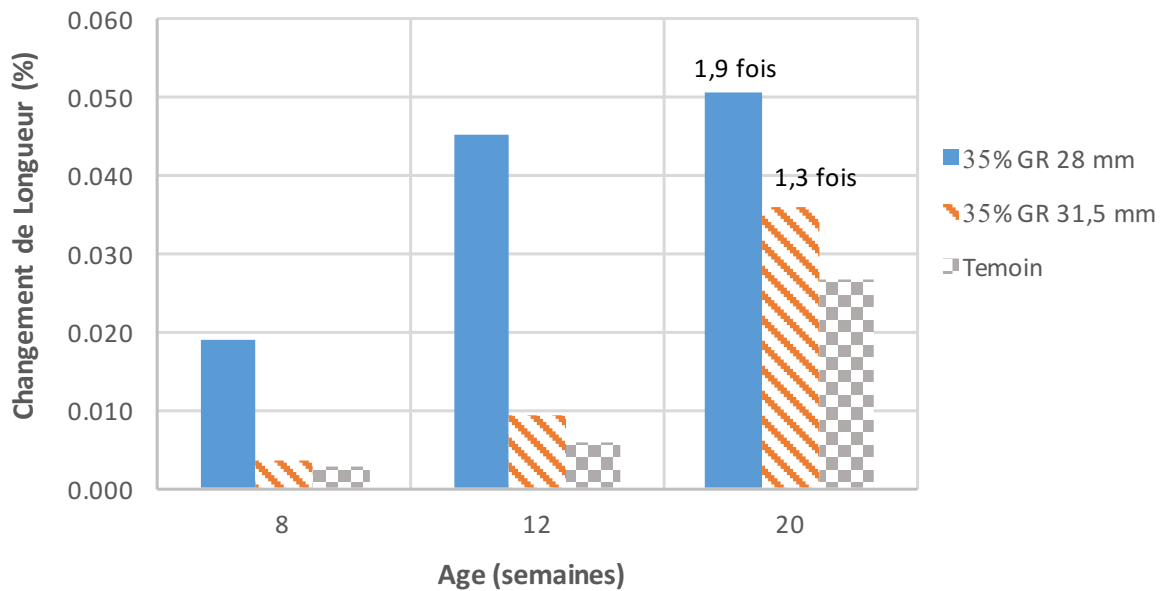


**Figure 65 - Perméabilité aux ions chlorure des différents types de béton étudiés**

Le Tableau 22 présente les résultats de changement de longueur des bétons étudiés et la Figure 66 présente la variation de ces changements de longueur avec l'âge du béton. Les mesures ont été prises sur des échantillons qui ont subi un mûrissement humide de 28 jours et deux semaines de séchage à l'air. On observe que les valeurs les plus élevées de changement de longueur ont été enregistrées pour le béton proportionné avec le granulat recyclé de 28 mm, suivi du béton fait avec les granulats recyclés de 31,5 mm et du béton témoin. À 20 semaines d'âge, le changement de longueur du béton recyclé de 28 mm est 1,9 fois le changement de longueur obtenu pour le béton témoin. Dans le cas du béton recyclé de 31,5 mm, le changement de longueur est 1,3 fois plus grand que le changement observé avec le béton témoin.

**Tableau 22 - Changement de longueur pour les bétons optimisés et le béton témoin.**  
Valeurs prises entre 8 semaines et 20 semaines d'âge du béton

Bétons	Période d'Évaluation		
	8 semaines (%)	12 semaines (%)	20 semaines (%)
35% GR 28 mm	0,0189	0,0451	0,0507
35% GR 31,5 mm	0,0035	0,0093	0,0357
Témoin	0,0027	0,0060	0,0266



**Figure 66 - Changement de longueur pour les différents bétons évalués**

Le changement de longueur du béton durci était plus important pour le béton contenant le granulat recyclé de 28 mm, comparativement au béton contenant le granulat recyclé de 31,5 mm. Cela peut être dû au fait que le granulat de 28 mm a moins d'absorption et d'humidité que le granulat de 31,5 mm. Dans le processus d'hydratation, il est probable que le granulat recyclé de 31,5 mm a libéré une partie de l'eau absorbée au début du processus, ce qui permet d'avoir de l'eau disponible à des âges ultérieurs et ainsi atténuer les effets du changement de longueur dans les échantillons. Par ailleurs, dans le cas du granulat de 28 mm, il y a moins d'eau interne disponible, ce qui signifie probablement que le béton fabriqué avec ce matériau présente des

conditions moins favorables pour le mûrissement interne et, par conséquent, une plus grande tendance au changement de longueur.

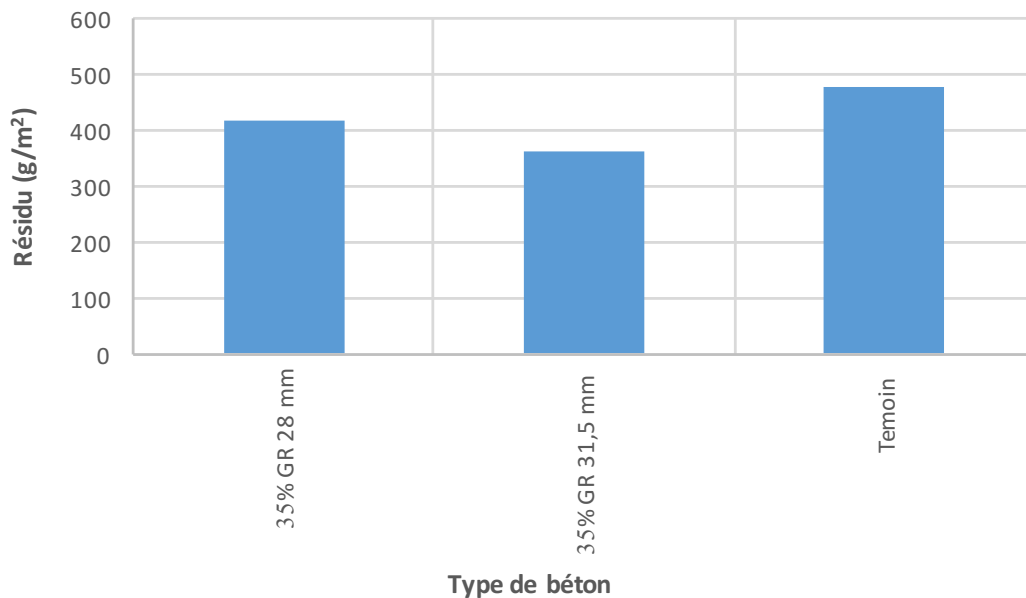
Le Tableau 23 montre les résultats obtenus pour les essais d'écaillage dans tous les bétons évalués. Les valeurs des pertes de surface (en  $\text{g/m}^2$ ) sont présentées pour les 3 échantillons évalués dans chaque type de béton, ainsi que la valeur moyenne obtenue. La qualification visuelle donnée aux échantillons après la fin de l'essai est également présentée.

**Tableau 23 - Valeurs de résidus et qualification visuelle de la surface des échantillons après les essais d'écaillage**

Béton	Résidu ( $\text{g/m}^2$ )				Évaluation visuelle	
	Valeur 1	Valeur 2	Valeur 3	Moyenne ( $\text{g/m}^2$ )	Code	Description
<b>35% GR 28 mm</b>	360	434	458	417	1	Très léger (3,2 mm. Max. aucun granulat )
<b>35% GR 31,5 mm</b>	322	365	405	364	1	Très léger (3,2 mm. Max. aucun granulat )
<b>Témoin</b>	671	333	428	477	2	Léger à modéré

La Figure 67 présente les valeurs des résidus de surface après l'essai d'écaillage pour les différents types de béton évalués. Ces résultats montrent une perte plus élevée dans le béton témoin que les bétons contenant granulats recyclés. La perte à l'écaillage du béton contenant le granulat recyclé de 31,5 mm est 24% plus faible que celle du béton témoin, alors que celle est 14% plus faible pour le béton contenant les granulats recyclés de 28 mm. Comme pour les résultats de la résistance à l'abrasion, une des hypothèses découlant de la diminution de l'écaillage pour le béton contenant les granulats recyclés est que ce comportement peut être dû à une meilleure adhérence entre le granulat recyclé et la pâte de ciment du nouveau béton, ce qui rend le béton contenant les granulats recyclés plus résistant à la détérioration de surface.

La norme pour Québec BNQ NQ 2621-900 établie comme limite maximale une valeur de résidus après l'essai d'écaillage de  $500 \text{ g/m}^2$ . Avec les résultats obtenus, les 3 bétons évalués ont une résistance à l'écaillage qui ne dépasse pas cette valeur.



**Figure 67 - Résidus de surface mesurés sur les bétons étudiés- essais d'ecaillage**

Le Tableau 24 et Tableau 25 montrent les valeurs obtenues pour les essais de gel-dégel des bétons évalués. Les résultats les plus bas en termes de la variation maximale de la masse et de la déformation ont été obtenus pour le béton témoin (0,10% et 60  $\mu\text{m/m}$ ), suivi du béton contenant les granulats recyclés de 31,5 mm (0,21% et 140  $\mu\text{m/m}$ ) et enfin le béton contenant les granulats recyclés de 28 mm (0,31% et 229  $\mu\text{m/m}$ ). Les facteurs de durabilité obtenus sont de 99%, 100% et 107% pour respectivement le béton témoin, le béton contenant les granulats recyclés de 31,5 mm et le béton proportionné avec les granulats recyclés de 28 mm. Le plus grand nombre de cycles d'essai a été obtenu avec le béton contenant les granulats recyclés de 28 mm (314 cycles), suivi du béton contenant les granulats recyclés de 31,5 mm (304 cycles) et du béton témoin (300 cycles).

**Tableau 24 - Nombre de cycles et facteur de durabilité pour les essais de gel-dégel des différents bétons**

Béton	No. de Cycles	FD (%)
35% GR 28 mm	314	107
35% GR 31,5 mm	304	100
Témoin	300	99

**Tableau 25 - Variation de masse et déformation pour les tests gel-dégel des différents bétons**

35% de GR 31,5 mm			35% de GR 28 mm			Témoin		
Nombre de cycles	Variation masse	Déformation	Nombre de cycles	Variation masse	Déformation	Nombre de cycles	Variation masse	Déformation
	(%)	(mm/m)		(%)	(mm/m)		(%)	(mm/m)
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,0
25	0,07	64,0	35	0,17	122,7	24	0,03	60,0
68	0,19	96,0	78	0,27	168,0	61	0,07	22,7
113	0,19	124,0	123	0,31	229,3	96	0,06	-17,3
149	0,21	140,0	159	0,32	156,0	142	0,10	-25,3
199	0,15	118,7	209	0,25	140,0	176	0,05	-5,3
230	0,09	118,7	240	0,15	189,3	228	0,01	-4,0
265	0,05	108,0	275	0,12	149,3	300	0,01	16,0
304	0,03	120,0	314	0,05	160,0			
<b>Max</b>	<b>0,21</b>	<b>140,0</b>	<b>Max</b>	<b>0,32</b>	<b>229,3</b>	<b>Max</b>	<b>0,10</b>	<b>60,0</b>

Selon la norme ASTM C671 qui évalue les changements de longueur des échantillons suite à des essais de gel-dégel, une valeur supérieure à 200  $\mu\text{m/m}$  indique que la structure interne du matériau a été significativement détériorée par la microfissuration. Dans le cas du béton avec le granulat recyclé de 28 mm, un changement de longueur de 229  $\mu\text{m/m}$  a été obtenu, ce qui montre que le processus de fissuration dans le béton a commencé.

D'autre part, les facteurs de durabilité obtenus pour le béton contenant le granulat recyclé de 31,5 mm et le béton témoin n'ont pas une très grande différence. De plus, les changements de longueur pour les deux bétons respectent la valeur acceptable spécifiée dans la norme ASTM C671. Ceci permet de conclure que le béton contenant le granulat recyclé de 31,5 mm montre un bon comportement en terme de résistance aux cycles gel-dégel.

## 4.6 Analyse comparative des résultats obtenus

Après avoir obtenu et analysé tous les essais mécaniques, on constate que l'utilisation des deux granulats recyclés (31,5 mm et 28 mm) dans le béton réduit les résistances à la compression, à la traction, à la flexion et le module d'élasticité en comparaison avec le béton qui contient uniquement le granulat naturel. Cependant, pour des pourcentages de remplacement inférieurs ou égaux à 35%, la diminution de la résistance à la compression est inférieure à 20%, de la traction est inférieure à 30% et de la flexion est inférieure à 30%. Dans le cas du module d'élasticité, les valeurs obtenues avec le béton contenant le granulat recyclé de 31,5 mm montrent une réduction de 56% par rapport au béton témoin ; tandis que pour le béton contenant le granulat recyclé de 28 mm, la diminution du module d'élasticité est inférieure à 20%.

Les essais de carbonatation, de perméabilité aux ions chlorures et de changement de longueur du béton durci contenant les granulats recyclés (31,5 et 28 mm) présentent une variation acceptable. Dans ce cas, on considère que les propriétés mesurées ne subissent pas de modification significative en termes de durabilité.

Les essais d'abrasion et d'écaillage ont donné de meilleurs résultats pour le béton contenant les granulats recyclés de 31,5 mm et de 28 mm comparativement au béton témoin. Une des hypothèses qui découlent de ce comportement est que cette amélioration des propriétés de détérioration de la surface lors de l'utilisation du béton recyclé est une indication que ce matériau peut avoir localement une liaison plus forte entre les granulats recyclés et la pâte de ciment du nouveau béton, ce qui résulte en une zone interfaciale de meilleure qualité, et par conséquent, une plus grande durabilité. Ceci en raison de la teneur en grains de ciment non hydratés dans la zone de transition entre le granulat et la pâte, ainsi qu'à cause de la réaction de la portlandite des granulats recyclés avec des ajouts cimentaires de la nouvelle pâte de ciment, pour créer une zone locale plus résistante.

Cependant, lorsque des effets tels que des ions chlorure ou des produits de carbonatation traversent cette structure résistante située dans la zone de transition et que le phénomène attaque

le granulat, les valeurs de durabilité diminuent et le béton recyclé devient moins résistant aux effets environnementaux. Cela expliquerait qu'à 20 semaines les valeurs de carbonatation sont plus élevées pour le béton recyclé. Selon le comportement observé au laboratoire, cette zone de transition plus résistante n'a pas d'effet important sur les propriétés mécaniques globales du matériau, puisque la diminution de la résistance du béton est déterminée par l'inclusion d'un granulat plus poreux et absorbant dans le mélange.

Les résultats des essais de gel-dégel ont montré des valeurs de perte de durabilité pour le béton recyclé de 28 mm par rapport au béton témoin. Cependant, les valeurs de cette même propriété pour le béton recyclé de 31,5 mm étaient très proches aux résultats du béton témoin.

# CHAPITRE 5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

## 5.1 Conclusions

En se basant sur les résultats obtenus dans cette étude, les conclusions tirées de chaque phase du projet sont les suivantes:

Phase I – Caractérisation des matériaux:

- Les deux granulats recyclés utilisés (31,5 mm et 28 mm) entrent dans la catégorie des granulats recyclés de type MR-2 établie dans le Devis Technique Normalisé 6VM-20 pour des travaux routiers (Ville de Montréal, 2008) et la norme NQ2560-600.
- La densité obtenue pour les grosses particules des deux granulats recyclés utilisés est égale, tandis que la densité des particules fines est supérieure pour le granulat de 28 mm. Par ailleurs, l'absorption et l'humidité des granulats recyclés de 31,5 mm sont supérieures que celles des granulats de 28 mm.

Phase 2 - Propriétés mécaniques du béton

- Les résultats obtenus sur le béton à l'état frais montrent une diminution de la masse volumique avec l'augmentation de la quantité des granulats recyclés introduits dans le mélange.
- La diminution de la masse volumique est plus importante avec le granulat de 28 mm, pour lequel la diminution maximale est de 3,2% par rapport au béton témoin; tandis que pour les bétons proportionnés avec le granulat de 31,5 mm, la diminution maximale est de 2,6%.
- Les valeurs de la masse volumique à l'état frais pour le béton contenant 35% de granulats recyclés saturés sont légèrement inférieures à celles du béton non saturé. La différence entre les résultats est de 1,5%.



- 
- Pour les deux types de granulats recyclés utilisés (31,5 mm et 28 mm), on observe une diminution de la résistance à la compression du béton à mesure que le pourcentage des granulats recyclés augmente. Ces résultats sont plus évidents à 28 et 56 jours d'âge du béton.
  - Dans le cas des bétons fabriqués avec les granulats de 31,5 mm et de 28 mm, la diminution de la résistance à la compression pour les remplacements inférieurs ou égaux à 35% de granulat recyclé est inférieure à 20%.
  - Dans la plupart des bétons évalués, la résistance à la compression à 28 jours est égale ou supérieure à 32 MPa (valeur établie dans la norme CSA comme résistance pour le béton des pavages et trottoirs - un béton de classe d'exposition C-2). Ceci montre que si la résistance du béton recyclé diminue par rapport au béton témoin, la capacité mécanique est suffisante pour répondre aux exigences de compression de la norme (béton de classe d'exposition type C-2).
  - Une diminution de la résistance à la traction du béton est observée lorsque le pourcentage de remplacement des granulats recyclés augmente. Pour les remplacements de 35% ou moins, les valeurs de résistance à la traction sont inférieures de 30% par rapport au béton témoin.
  - La résistance à la flexion diminue progressivement avec l'augmentation du pourcentage de granulats recyclés, pour tous les mélanges évalués. Pour des pourcentages de remplacement inférieurs ou égaux à 35%, la diminution de la résistance à la flexion est inférieure à 30% par rapport au béton témoin.
  - L'augmentation des matériaux fins recyclés a un impact positif sur les propriétés mécaniques du matériau. Cet effet positif des fins recyclés devient plus évident pour les pourcentages élevés de remplacement des granulats recyclés.

- Le module d'élasticité du béton diminue d'une façon significative avec l'ajout des granulats recyclés, par rapport au béton témoin. Le béton recyclé de 31,5 mm présente des diminutions d'environ 50% du module d'élasticité pour des remplacements inférieurs ou égaux à 35%, alors que dans le cas du béton recyclé de 28 mm, la diminution est d'environ 15% pour les pourcentages de remplacement égaux ou inférieurs à 35%.
- Les résultats des essais effectués sur les formulations de bétons recyclés dans conditions saturées et non saturées ne sont pas concluants pour pouvoir déterminer laquelle des deux procédures est la meilleure pour l'incorporation des granulats recyclés dans le béton.
- Les bétons contenant 35% de granulats recyclés présentent une diminution de 30% ou moins dans la plupart de propriétés mécaniques mesurées, par rapport au béton témoin. Par conséquent, ces bétons ont été désignés comme les bétons optimaux dans le cadre de cette étude. Ces deux mélanges (35% de 31,5 mm et 28 mm) ont été choisis pour réaliser l'étude de durabilité.

#### Phase 3 - Durabilité du béton optimisé

- Les valeurs de carbonatation obtenues sont plus élevées dans le béton recyclé que dans le béton témoin. À 20 semaines d'exposition dans la chambre de carbonatation, les valeurs sur les bétons recyclés sont supérieures de 23%, en moyenne, par rapport au béton témoin traité dans les mêmes conditions.
- Les valeurs les plus élevées de la profondeur d'abrasion ont été obtenues avec le béton témoin, suivi du béton recyclé de 31,5 mm, puis du béton recyclé de 28 mm.
- Les résultats de perméabilité aux ions chlorure sont plus importants pour le béton recyclé de 31,5 mm et 28 mm, par rapport au béton témoin. Malgré cette variation observée avec le béton recyclé, tous les bétons évalués (témoins et recyclés) entrent dans la même catégorie de perméabilité modérée, selon la classification établie dans la norme ASTM 1202.

- 
- Les valeurs les plus élevées de changement de longueur dans le béton durci ont été enregistrées pour le béton recyclé de 28 mm, suivi du béton recyclé de 31,5 mm et du béton témoin.
  - Les essais d'écaillage du béton ont montré une meilleure performance dans les deux bétons recyclés par rapport au béton témoin. Les résidus à la surface obtenus après l'achèvement de l'essai pour le béton recyclé de 31,5 mm sont 23.8% inférieurs à ceux obtenus pour le béton témoin, alors que ceux du béton recyclé de 28 mm sont inférieurs de 14.4% par rapport au béton témoin.
  - Pour les essais de gel-dégel, les résultats les plus faibles de variation maximale de masse et de déformation ont été obtenus pour le béton témoin, suivi du béton recyclé de 31,5 mm et du béton recyclé de 28 mm.
  - Les changements de longueur pour le béton recyclé de 31,5 mm et le béton témoin respectent la valeur acceptable spécifiée dans la norme ASTM C671. Ceci conduit à la conclusion que ces deux bétons présentent un bon comportement en termes de résistance aux cycles de gel-dégel. Dans le cas du béton recyclé de 28 mm, selon la norme ASTM C671, le changement de longueur obtenu indique que le processus de microfissuration dans le matériau a commencé.
  - En tenant compte de tous les essais effectués pour les deux types de granulats recyclés, on constate qu'il y a une modification significative des propriétés physiques du béton avec la variation du granulats recyclé utilisé.
  - Globalement, les résultats des essais de durabilité du béton recyclé montrent une variation par rapport aux résultats obtenus pour le béton témoin. Cependant, il est considéré que l'impact de ces variations dans la qualité du béton obtenu peut être atténué à partir d'une connaissance approfondie du matériau recyclé à ajouter dans le mélange. L'identification des principales variables qui contrôlent les propriétés du béton recyclé à l'état frais et durci

est déterminante pour obtenir des résultats positifs dans la performance de ce type de matériaux.

## 5.2 Recommandations

Pour les recherches ultérieures sur le béton recyclé, il est recommandé de prendre en compte les paramètres suivants, pour mieux comprendre les propriétés du matériau:

- Étudier le comportement des bétons saturé et non saturé avec séchage à l'air, pour obtenir des informations importantes concernant le processus d'hydratation du béton recyclé et comment ce processus est affecté en fonction de l'eau disponible pendant le durcissement des échantillons.
- Le contrôle strict de la quantité de fins recyclés ajoutés au béton est nécessaire afin de pouvoir comparer le béton avec différents pourcentages de matériaux recyclés. Il est recommandé de conserver les mêmes proportions des gros granulats et des granulats fins recyclés dans tous les bétons, avec des pourcentages variables en granulat total recyclé.
- Compte tenu des caractéristiques d'absorption des granulats recyclés, lors de la préparation du mélange de béton recyclé, il est nécessaire d'effectuer une correction d'humidité pour ce type de granulat, car ce matériau pourrait modifier significativement la quantité l'eau de gâchage disponible.
- Il est recommandé d'effectuer des essais de durabilité sur des périodes prolongées pour le béton recyclé. Cela permettra d'avoir plus d'informations sur la façon dont le matériau se comporte à des âges avancés et comment ses propriétés sont modifiées par rapport au béton témoin, après 6 mois ou plus d'âge des échantillons.
- Dans la mesure du possible, l'utilisation des granulats recyclés homogènes est recommandée pour la réalisation de mélanges de béton. Si le matériau recyclé est très variable, il sera plus difficile de contrôler les paramètres du béton fabriqué à partir de ce matériau. Des facteurs tels que l'utilisation d'un matériau recyclé provenant d'une source

unique ou la sélection rigoureuse du matériau recyclé à ajouter peuvent aider à avoir une plus grande homogénéité dans le béton recyclé.

- Les recherches futures sur les bétons à base de granulats recyclés devraient continuer à être menées, de telle sorte que les principales caractéristiques de ce type de matériau puissent être bien comprises et des critères soient de plus en plus clairs pour l'utilisation appropriée de ces granulats comme sources de matériaux dans les structures en béton.



# ANNEXE I - PROPRIÉTÉS DÉTAILLÉES DES GRANULATS NATURELS

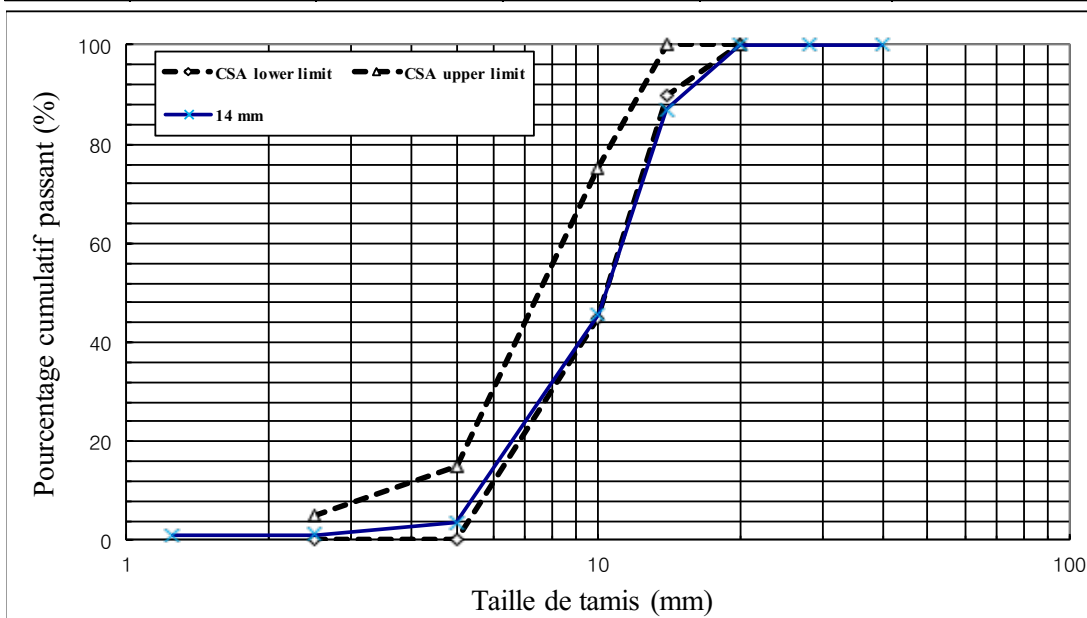
## UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

### ESSAI DE TAMISAGE

PROJET : Granulométrie-Pierre-14mm#1  
 ÉCHANTIONNÉ PAR : Denis DATE 2015-04-13  
 ANALYSÉ PAR : Denis DATE 2015-04-13  
 PROVENANCE : Carrière St-Dominique  
 UTILISATION : Béton  
 DESCRIPTION PIERRE: 5 14 mm

MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON HUMIDE (g) : \_\_\_\_\_ TENEUR EN EAU (%): \_\_\_\_\_  
 MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON SEC (g) : 3720  
 REFUS SUR LE TAMIS 5 mm (g) : 1564 REFUS (%) : 42.04

GROS GRANULAT		MASSE DE PRISE DE L'ESSAI (g) : 3720.0			
TAMIS (mm)	REFUS (g)	REFUS CUMULÉS (g)	REFUS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS TOTAL
40	0	0	0	100	
28	0	0	0	100	
20	0	0	0	100	
14	482.9	482.9	13.0	87.0	
10	1541.1	2024	54.4	45.6	
5	1564	3588	96.5	3.5	
2.5	86	3674	98.8	1.2	
1.25	10.3	3684.3	99.0	1.0	
PLAT	33.9	3718.2	100.0	0.0	



## UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

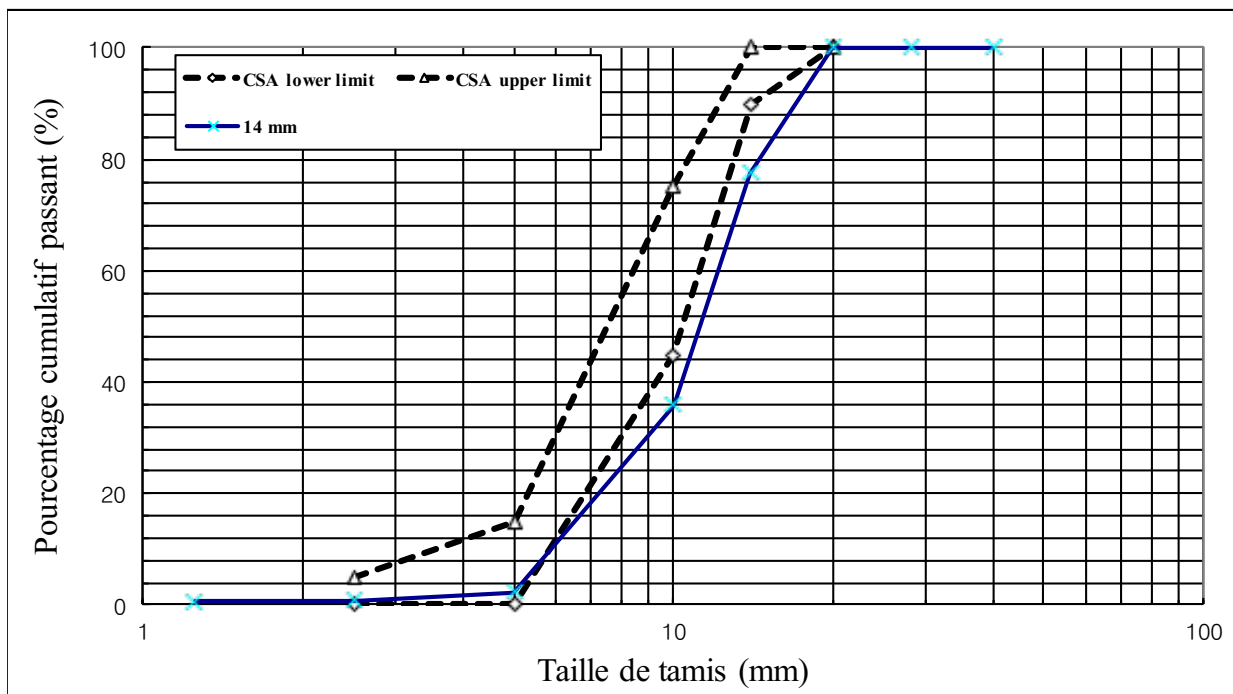
## ESSAI DE TAMISAGE

PROJET : Granulométrie-Pierre-14mm#2  
 ÉCHANTIONNÉ PAR : Denis DATE 2015-04-13  
 ANALYSÉ PAR : Denis DATE 2015-04-13

PROVENANCE : Carrière St-Dominique  
 UTILISATION : Béton  
 DESCRIPTION PIERRE: 5 14 mm

MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON HUMIDE (g) : \_\_\_\_\_ TENEUR EN EAU (%): \_\_\_\_\_  
 MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON SEC (g) : 3277  
 REFUS SUR LE TAMIS 5 mm (g) : 1098 REFUS (%) : 33.50

GROS GRANULAT		MASSE DE PRISE DE L'ESSAI (g) : 3277.1			
TAMIS (mm)	REFUS (g)	REFUS CUMULÉS (g)	REFUS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS TOTAL
40	0	0	0	100	
28	0	0	0	100	
20	0	0	0	100	
14	733.3	733.3	22.4	77.6	
10	1369.7	2103	64.2	35.8	
5	1097.9	3200.9	97.7	2.3	
2.5	49.6	3250.5	99.2	0.8	
1.25	4.8	3255.3	99.3	0.7	
PLAT	21.1	3276.4	100.0	0.0	





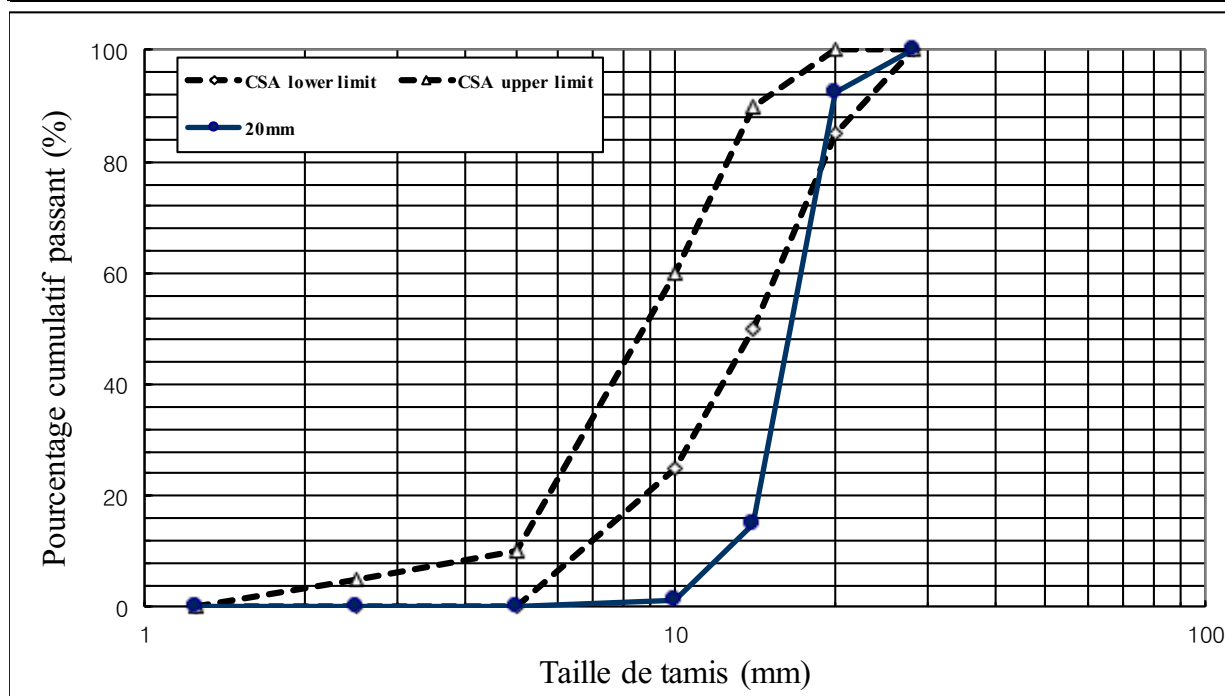
# UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

## ESSAI DE TAMISAGE

PROJET : Granulométrie-Pierre-20mm#1 PROVENANCE : Projet Groupe  
 ÉCHANTIONNÉ PAR : Bérhouz DATE 2012-08-20 UTILISATION : Béton  
 ANALYSÉ PAR : Denis DATE 2012-08-20 DESCRIPTION PIERRE: 20mm

MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON HUMIDE (g) : \_\_\_\_\_ TENEUR EN EAU (%): \_\_\_\_\_  
 MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON SEC (g) : 5630  
 REFUS SUR LE TAMIS 5 mm (g) : 59.4 REFUS (%) : 0.01

GROS GRANULAT		MASSE DE PRISE DE L'ESSAI (g) : <u>5629.9</u>			
TAMIS (mm)	REFUS (g)	REFUS CUMULÉS (g)	REFUS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS TOTAL
40	0	0	0	100	
28	0	0	0	100	
20	417	417	7	93	
14	4380.6	4797.6	85.2	14.8	
10	754.7	5552.3	98.6	1.4	
5	59.4	5611.7	99.7	0.3	
2.5	2.9	5614.6	99.7	0.3	
1.25	0.7	5615.3	99.7	0.3	
PLAT	11.4	5626.7	99.9	0.1	



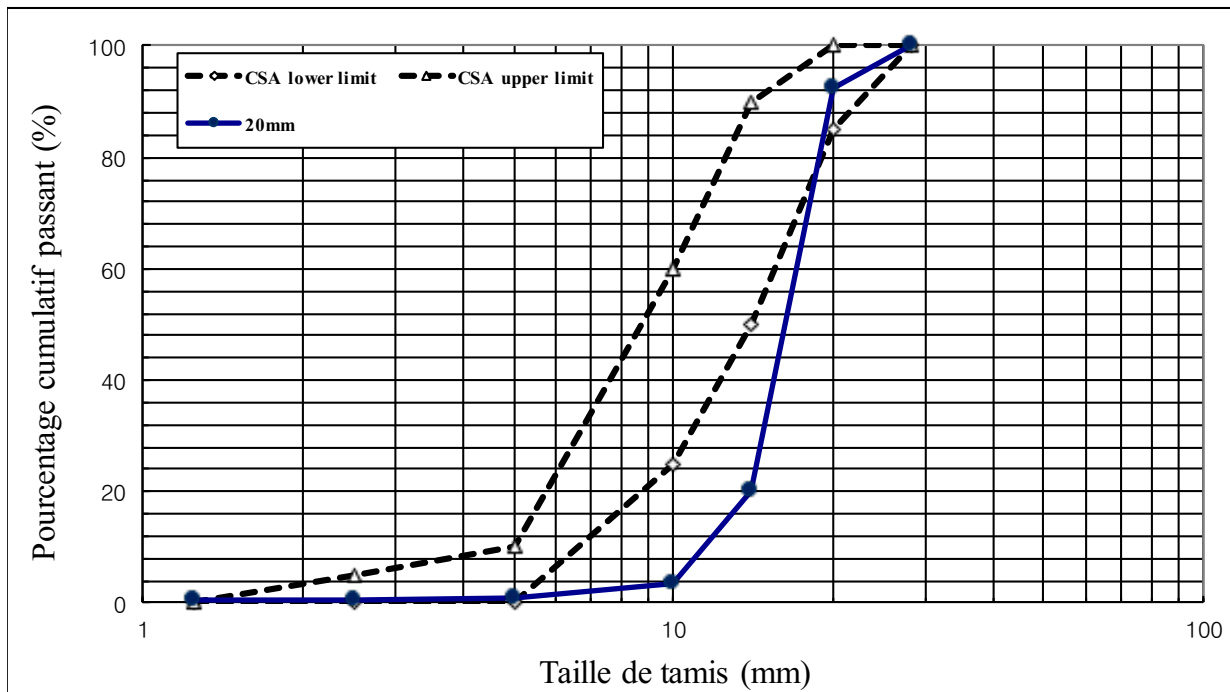
## UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

## ESSAI DE TAMISAGE

PROJET :	Granulométrie-Pierre-20mm#2		PROVENANCE :	Projet Groupe
ÉCHANTIONNÉ PAR :	Bérhouz	DATE 2012-08-20	UTILISATION :	Béton
ANALYSÉ PAR :	Denis	DATE 2012-08-20	DESCRIPTION PIERRE:	20mm

MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON HUMIDE (g) :		TENEUR EN EAU (%) :	-1.00E+00
MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON SEC (g) :	5208		
REFUS SUR LE TAMIS 5 mm (g) :	4978	REFUS (%) :	0.96

GROS GRANULAT		MASSE DE PRISE DE L'ESSAI (g) : 5208.3			
TAMIS (mm)	REFUS (g)	REFUS CUMULÉS (g)	REFUS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS TOTAL
40	0	0	0	100	
28	0	0	0	100	
20	394.1	394.1	8	92	
14	3771.3	4165.4	80.0	20.0	
10	870.8	5036.2	96.7	3.3	
5	125.1	5161.3	99.1	0.9	
2.5	16.1	5177.4	99.4	0.6	
1.25	4.3	5181.7	99.5	0.5	
PLAT	22.9	5204.6	99.9	0.1	



# UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

## ESSAI DE TAMISAGE

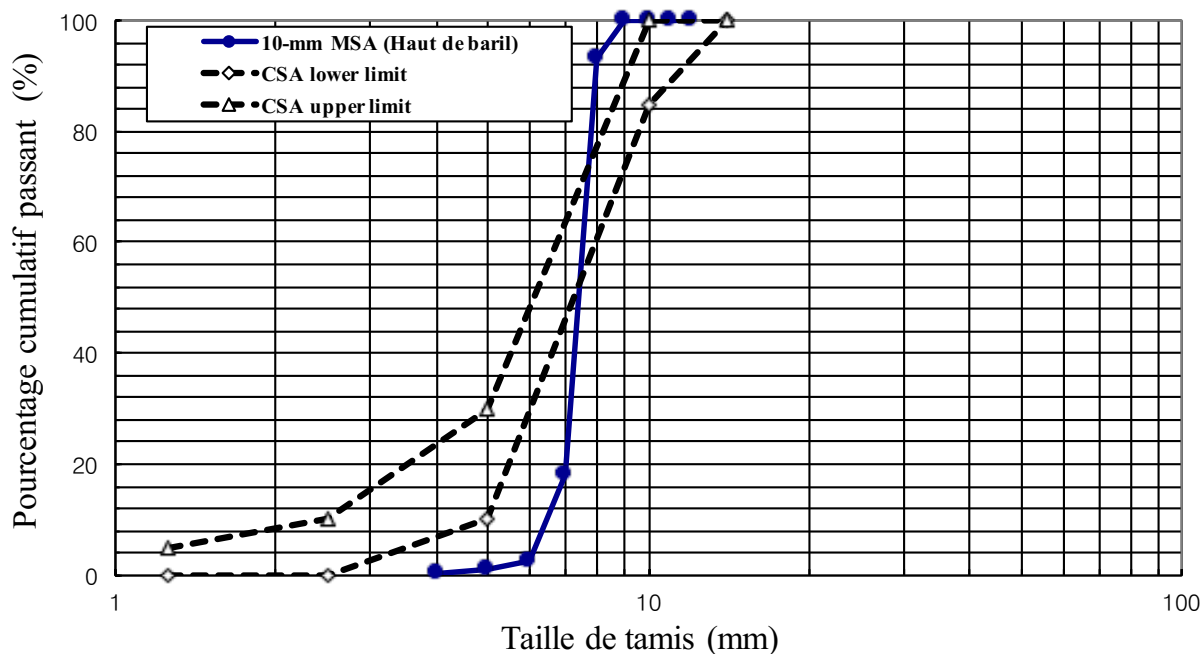
PROJET : Granulométrie-Pierre-10mm#1  
 ÉCHANTIONNÉ PAR : Denis DATE 2012-08-16  
 ANALYSÉ PAR : Denis DATE 2012-08-16

PROVENANCE : St-Dominique  
 UTILISATION : Béton  
 DESCRIPTION PIERRE: 10 mm

MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON HUMIDE (g) :  
 MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON SEC (g) : 1559  
 REFUS SUR LE TAMIS 5 mm (g) : 1169.6

TENEUR EN EAU (%):  
 REFUS (%): 0.75

GROS GRANULAT		MASSE DE PRISE DE L'ESSAI (g) : 1559			
TAMIS (mm)	REFUS (g)	REFUS CUMULÉS (g)	REFUS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS TOTAL
40	0	0	0	100	
28	0	0	0	100	
20	0	0	0	100	
14	0	0	0.0	100.0	
10	104.7	104.7	6.7	93.3	
5	1169.6	1274.3	81.7	18.3	
2.5	242.8	1517.1	97.3	2.7	
1.25	23.2	1540.3	98.8	1.2	
PLAT	16.4	1556.7	99.9	0.1	



## UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

## ESSAI DE TAMISAGE

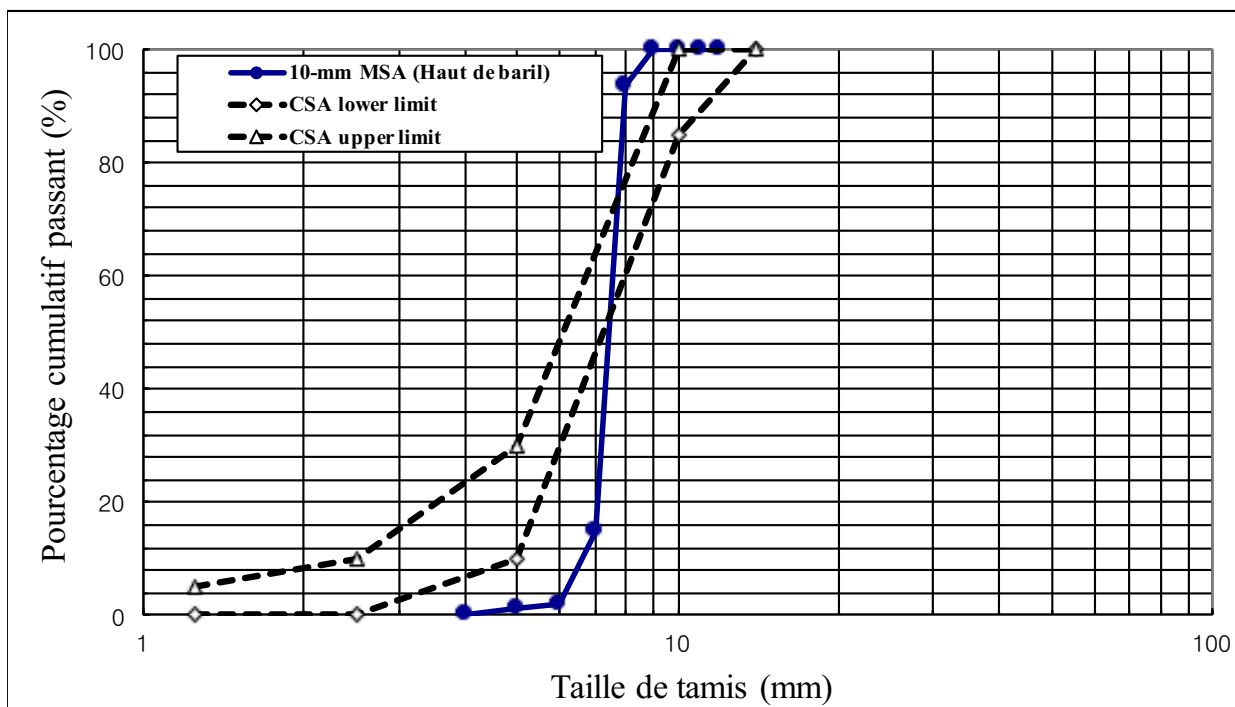
PROJET : Granulométrie-Pierre-10mm#2  
 ÉCHANTIONNÉ PAR : Denis DATE 2012-08-16  
 ANALYSÉ PAR : Denis DATE 2012-08-16

PROVENANCE : St-Dominique  
 UTILISATION : Béton  
 DESCRIPTION PIERRE: 10 mm

MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON HUMIDE (g) :  
 MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON SEC (g) : 1544  
 REFUS SUR LE TAMIS 5 mm (g) : 1215

TENEUR EN EAU (%):  
 REFUS (%) : 0.79

GROS GRANULAT		MASSE DE PRISE DE L'ESSAI (g) : 1544.2			
TAMIS (mm)	REFUS (g)	REFUS CUMULÉS (g)	REFUS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS TOTAL
40	0	0	0	100	
28	0	0	0	100	
20	0	0	0	100	
14	0	0	0.0	100.0	
10	98.1	98.1	6.4	93.6	
5	1215.4	1313.5	85.1	14.9	
2.5	199.1	1512.6	98.0	2.0	
1.25	14.5	1527.1	98.9	1.1	
PLAT	15.1	1542.2	99.9	0.1	



# UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

## ESSAI DE TAMISAGE

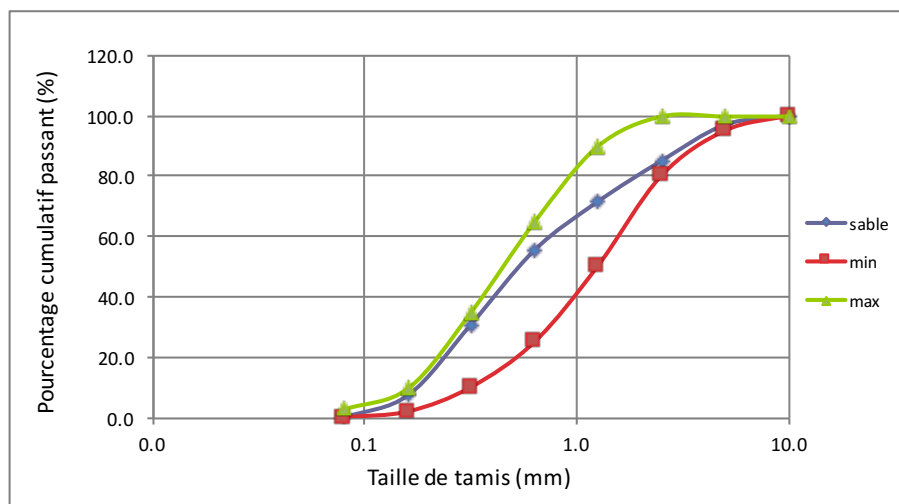
PROJET : contrôle Avril 2015 #1 PROVENANCE : DJL  
 ÉCHANTIONNÉ PAR : Denis DATE            UTILISATION : Béton  
 ANALYSÉ PAR : Denis DATE            DESCRIPTION : sable 0-5 mm

MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON HUMIDE (g) :            TENEUR EN EAU (%):             
 MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON SEC (g) :             
 REFUS SUR LE TAMIS 5 mm (g) :            REFUS (%) :           

GRANULAT FIN		MASSE DE PRISE DE L'ESSAI : <u>703.3</u>			
TAMIS (mm)	REFUS (g)	REFUS CUMULÉS (g)	REFUS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS TOTAL
10	0		0.00	100.00	
5	21.6	21.6	3.07	96.93	
2.5	84.1	105.7	15.03	84.97	
1.25	95.0	200.7	28.54	71.46	
0.630	112.2	312.9	44.49	55.51	
0.315	173.3	486.2	69.13	30.87	
0.160	163.3	649.5	92.35	7.65	
0.080	52.3	701.8	99.79	0.21	
PLAT	1.2	703.0	99.96	0.04	
MODULE DE FINESSE DU SABLE :			2.53		

REMARQUE(S) : Masse sèche après lavage au tamis#80=725,9g Donc: 725,9g-703,3g=22,6g à ajouter au plat

MODULE DE FINESSE = Sommation des refus cumulés en % sur les tamis (5;2,5;1,25;0,630;0,315;0,160) /100



## UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

## ESSAI DE TAMISAGE

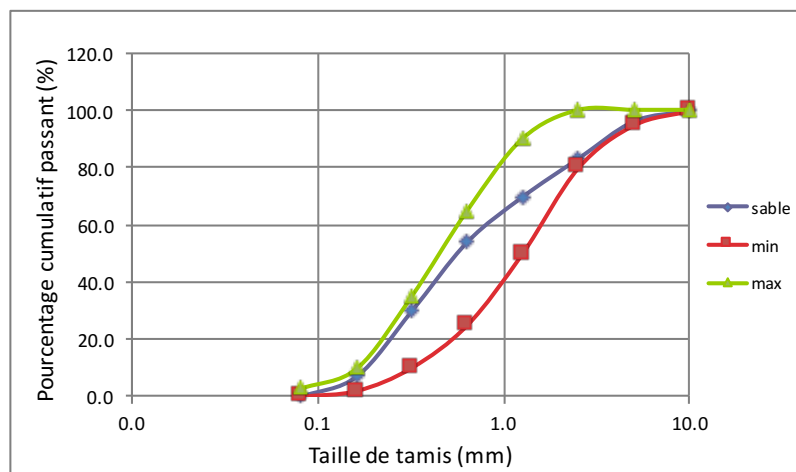
PROJET :	contrôle Avril 2015 #2		PROVENANCE :	DJL
ÉCHANTIONNÉ PAR :	Denis	DATE 2015-04-14	UTILISATION :	Béton
ANALYSÉ PAR :	Denis	DATE 2015-04-14	DESCRIPTION :	sable 0-5 mm

MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON HUMIDE (g) :	793.4	TENEUR EN EAU (%) :	1.16
MASSE TOTALE DE L'ÉCHANTILLON SEC (g) :	784.3		
REFUS SUR LE TAMIS 5 mm (g) :	27.0	REFUS (%) :	3.443

GRANULAT FIN		MASSE DE PRISE DE L'ESSAI : 760.0			
TAMIS (mm)	REFUS (g)	REFUS CUMULÉS (g)	REFUS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS (%)	TAMISATS CUMULÉS TOTAL
10	0		0.00	100.00	
5	27.0	27.0	3.55	96.45	
2.5	99.4	126.4	16.63	83.37	
1.25	101.6	228.0	30.00	70.00	
0.630	119.7	347.7	45.75	54.25	
0.315	184.6	532.3	70.04	29.96	
0.160	172.1	704.4	92.68	7.32	
0.080	53.9	758.3	99.78	0.22	
PLAT	1.3	759.6	99.95	0.05	
MODULE DE FINESSE DU SABLE :			2.59		

REMARQUE(S) : Masse sèche après lavage au tamis#80=760g      Donc: 784,3g-760g=24,3g à ajouter au plat

MODULE DE FINESSE = Somation des refus cumulés en % sur les tamis (5;2,5;1,25;630;315;160) /100





**UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE  
LABORATOIRE DES MATÉRIAUX**

**DENSITÉ ET ABSORPTION  
PIERRE**

PROJET : Contrôle  
 DESCRIPTION : Pierre-5 14mm  
 ANALYSÉ PAR : D.B Date:2015-04-14

	Test #1	Test #2
1 - Masse ds l'air sec + tare	2960.6	2657.8
2 - Masse de la tare	557.8	590.8
3 - Masse ds l'air sec	2402.8	2067
4 - Masse SSS + tare	2970.5	2666
5 - Masse de la tare	557.8	590.8
6 - Masse SSS ds l'air	2412.7	2075.2
7 - Masse SSS dans l'eau	1529.3	1315.2
8 - Température de l'eau	23.7	23.7
9 - Densité de l'eau à T	0.997369	0.997369
11 -Densité brute Db	2.72	2.72
12 -Densité SSS Dsss	2.73	2.73
13 -Densité apparente Da	2.75	2.75
14 -Absorption	0.41	0.40

Densité de l'eau à 23 = 0,997538



**UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE  
LABORATOIRE DES MATÉRIAUX**

**DENSITÉ ET ABSORPTION**

PROJET : Groupe Béton  
 DESCRIPTION : 20-Oct  
 ANALYSÉ PAR : Denis

	Test #1	Test #2
1 - Masse ds l'air sec + tare	3704	4034
2 - Masse de la tare	591.7	556.2
3 - Masse ds l'air sec	3112.3	3477.8
4 - Masse SSS + tare	3682.8	4049.9
5 - Masse de la tare	556.1	556.2
6 - Masse SSS ds l'air	3126.7	3493.7
7 - Masse SSS dans l'eau	1991.5	2225.6
8 - Température de l'eau	24	23.9
9 - Densité de l'eau à T	0.997296	0.997320
11 -Densité brute Db	2.74	2.74
12 -Densité SSS Dsss	2.75	2.75
13 -Densité apparente Da	2.78	2.78
14 -Absorption	0.46	0.46

Densité de l'eau à 23 = 0,997538

**UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE  
LABORATOIRE DES MATÉRIAUX**

DENSITÉ ET ABSORPTION  
SABLE

PROJET : Sable-Groupe  
 DESCRIPTION : Provenance:DJL(Demix)  
 ANALYSÉ PAR : D.Bolduc DATE : 2015-04-14

1 - Ballon #	E	D	
2 - Masse ballon+sable sss	711	689.3	
3 - Masse ballon	178.5	176.6	
4 - Masse du sable sss	532.5	512.7	
5 - Masse ballon+sable+eau	1010.5	995.2	
6 - Température ( celcius) T	23.2	23.2	
Tare # ( pour séchage )	J	C	
7 - Masse sable sec+Tare	1082.4	1066.8	
8 - Masse de la tare	554.7	558.6	
9 - Masse du sable sec	527.7	508.2	
10 -Densité de l'eau à T	0.997490	0.997490	
11 -Masse du ballon + eau à T	676.84	674.58	
12 -Densité brute Db	2.65	2.65	
13 -Densité SSS Dsss	2.68	2.67	
14 -Densité apparente Da	2.72	2.71	
15 -Absorption	0.91	0.89	

$$Db = ( 9 \times 10 ) / ,997538 ( 4-5+11 )$$

$$Da = ( 9 \times 10 ) / ,997538 ( 9-5+11 )$$

$$Dsss = ( 4 \times 10 ) / ,997538 ( 4-5+11 )$$

$$Abs = (( 4-9 ) / 9) \times 100$$

$$\text{Densité de l'eau à } 23^{\circ}\text{C} = 0,997538$$

La valeur 11 s'obtient à partir de la courbe d'étalonnage du ballon utilisé

**UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE  
LABORATOIRE DES MATÉRIAUX**

**DENSITÉ ET ABSORPTION  
SABLE**

PROJET : **Sable-Groupe**  
 DESCRIPTION : **Provenance:DJL(Demix)**  
 ANALYSÉ PAR : **D.Bolduc**      DATE : **2015-09-29**

1 - Ballon #	K		
2 - Masse ballon+sable sss	639.5		
3 - Masse ballon	180.1		
4 - Masse du sable sss	459.4		
5 - Masse ballon+sable+eau	965.3		
6 - Température ( celcius)    T	24.3		
Tare # ( pour séchage )	E		
7 - Masse sable sec+Tare	995.5		
8 - Masse de la tare	540		
9 - Masse du sable sec	455.5		
10 -Densité de l'eau à    T	0.997221		
11 -Masse du ballon + eau à T	678.16		
12 -Densité brute                Db	2.64		
13 -Densité SSS                Dsss	2.67		
14 -Densité apparente        Da	2.70		
15 -Absorption	0.86		

$$Db = ( 9 \times 10^{-3} ) / 0.997538 ( 4 - 5 + 11 )$$

$$Da = ( 9 \times 10^{-3} ) / 0.997538 ( 9 - 5 + 11 )$$

$$Dsss = ( 4 \times 10^{-3} ) / 0.997538 ( 4 - 5 + 11 )$$

$$Abs = (( 4 - 9 ) / 9 ) \times 100$$

$$\text{Densité de l'eau à } 23^{\circ}\text{C} = 0.997538$$

La valeur 11 s'obtient à partir de la courbe d'étalonnage du ballon utilisé

# ANNEXE II - CARACTÉRISTIQUES DES CIMENTS UTILISÉS

(<https://www.lafarge.ca>)



Fiche signalétique : Ciment Portland Lafarge

## Fiche signalétique

### Section 1 : INFORMATIONS SUR LE PRODUIT ET LA SOCIÉTÉ

**Nom(s) du produit :** Ciment Portland Lafarge (ciment)

**Identification du produit :** Ciment, Ciment Portland, Ciment hydraulique, Ciment pour puits de pétrole, ciment blanc Trinity®, Ciment Portland au calcaire, ciment Portland blanc antique de type I, IA, IE, II, VII, IIA, II LA., III, IIIA, IV, IVA, V, VA, 10, 20, 30, 40, 50, GU, GUL, MS, MH, HE, LH, HS, OWH, Ciment OWG, OW classe G HSR, InfiniCim™

**Fabricant :** Lafarge North America Inc.  
8700 West Bryn Mawr Avenue, Suite 300  
Chicago, IL 60631 USA

**Numéro de téléphone d'information :** 773-372-1000 (9 h à 17 h HNC)

**Numéro de téléphone d'urgence :** 1-800-451-8346 (Assistance 24h)

**Utilisation du produit :** Le ciment est utilisé en tant que liant dans les bétons et les mortiers, qui sont d'un usage très répandu en construction. Le ciment est distribué en sacs et en vrac.

**Remarque :** Cette fiche signalétique s'applique à de nombreux types de ciment Portland. La composition individuelle des constituants dangereux variera d'un type de ciment Portland à un autre.

### Section 2 : COMPOSITION/INFORMATIONS RELATIVES AUX INGRÉDIENTS

Composant	% (en poids)	Numéro CAS	PEL OSHA - MPT (mg/m <sup>3</sup> )	TLV ACGIH - MPT (mg/m <sup>3</sup> )	DL <sub>50</sub> (souris, intrapéritonéal)	CL <sub>50</sub>
Ciment Portland*	100	65997-15-1	15 (T) ; 5 (R)	1 (R)	Sans objet	Sans objet
Sulfate de calcium*	2-10	13397-24-5	15 (T) ; 5 (R)	10 (T)	Sans objet	Sans objet
Carbonate de calcium*	0-15	1317-65-3	15 (T) ; 5 (R)	3 (R), 10 (T)	Sans objet	Sans objet
Oxyde de calcium	0-5	1305-78-8	5 (T)	2 (T)	3 050 mg/kg	Sans objet
Oxyde de magnésium	0-4	1309-48-4	15 (T)	10 (T)	Sans objet	Sans objet
Silice cristalline	0-0,2	14808-60-7	[(10) / (%SiO <sub>2</sub> +2)] (R); [(30) / (%SiO <sub>2</sub> +2)] (T)	0,025 (R)	Sans objet	Sans objet

Remarque : Limites d'exposition pour les composants suivis d'un \* ne contenant pas d'amiante et < 1 % de silice cristalline

Le ciment est fabriqué à partir de matériaux extraits du sol et traités en utilisant de l'énergie fournie par des combustibles. Des traces de substances chimiques peuvent être détectées lors d'une analyse chimique. Par exemple, le ciment peut contenir des traces d'oxyde de calcium (connu également sous le nom de chaux vive), d'oxyde de magnésium libre, de composés de sulfate de potassium et de sodium, de composés de chrome, de composés de nickel et d'autres composés.

### Section 3 : IDENTIFICATION DES DANGERS

AVERTISSEMENT	
	<p>Corrosif - provoque de graves brûlures. Toxique - nocif par inhalation. (Contient de la silice cristalline.)</p>
	<p>Utiliser des moyens mécaniques de contrôle, des pratiques de travail et des équipements de protection personnelle appropriés pour éviter toute exposition au produit mouillé ou sec.</p> <p>Lire la fiche signalétique pour plus de détails.</p>



Fiche signalétique : Ciment Portland Lafarge

### Section 3 : IDENTIFICATION DES DANGERS (suite)

**Présentation des urgences :** Le ciment est une poudre compacte grise, blanc cassé ou blanche, inodore. Il n'est ni combustible ni explosif. Une exposition unique de courte durée à la poudre sèche présente peu de risques, voire aucun. Une exposition de durée suffisante à du ciment mouillé, ou à du ciment sec sur des zones humides du corps, peut provoquer des lésions graves et potentiellement irréversibles des tissus (peau, yeux, voies respiratoires), dues à des brûlures chimiques (caustiques), y compris des brûlures au troisième degré.

**Effets potentiels sur la santé :**

**Contact avec les yeux :** La poussière en suspension dans l'air peut provoquer une irritation ou une inflammation immédiate ou différée. Le contact avec les yeux de ciment mouillé ou de grandes quantités de poudre sèche peut provoquer une irritation modérée, des brûlures chimiques et la cécité. Toute exposition des yeux nécessite des premiers soins et une attention médicale immédiate pour éviter des lésions importantes de l'œil.

**Contact avec la peau :** Le ciment peut dessécher la peau et provoquer une gêne, une irritation, de graves brûlures et une dermatite.

**Brûlures :** Une exposition de durée suffisante à du ciment mouillé, ou à du ciment sec sur des zones humides du corps, peut provoquer des lésions graves et potentiellement irréversibles de la peau, des yeux, des voies respiratoires et digestives, dues à des brûlures chimiques (caustiques), y compris des brûlures au troisième degré. Une exposition de la peau peut être dangereuse même s'il n'y a ni douleur ni gêne.

**Dermatite :** Le ciment peut provoquer une dermatite par irritation ou par allergie. Celle-ci peut se manifester par des symptômes tels que des rougeurs, une démangeaison, une éruption cutanée, une desquamation et des gerçures.

Les dermatites irritantes sont causées par les propriétés physiques du ciment, notamment l'alcalinité et l'abrasion.

Les dermatites de contact allergique sont causées par une sensibilisation au chrome hexavalent (chromate) présent dans le ciment. La réaction peut aller d'une légère éruption cutanée à de graves ulcères de la peau. Les personnes déjà sensibilisées peuvent réagir au premier contact avec le ciment. D'autres peuvent développer une dermatite allergique après des années de contact répété avec le ciment.

**Inhalation (aiguë) :** L'inhalation de poussière peut provoquer une irritation du nez, de la gorge ou des poumons, pouvant aller jusqu'à l'asphyxie, suivant le degré d'exposition. L'inhalation de quantités importantes de poussière peut provoquer des brûlures chimiques du nez, de la gorge et des poumons.

**Inhalation (chronique) :** Le risque de lésions dépend de la durée et du niveau de l'exposition.

**Silicose :** Ce produit contient de la silice cristalline. L'inhalation prolongée ou répétée de silice cristalline respirable provenant de ce produit peut provoquer une silicose, qui est une maladie pulmonaire gravement invalidante et mortelle. Voir l'avis aux médecins, dans la section 4, pour de plus amples informations.

**Carcinogénicité :** Le ciment n'est répertorié en tant que cancérigène ni par le CIRC, ni par le NTP ; cependant, le ciment contient des traces de silice cristalline et de chrome hexavalent qui sont classés par le CIRC et le NTP comme des cancérigènes reconnus pour l'homme.



Fiche signalétique : Ciment Portland Lafarge

### Section 3 : IDENTIFICATION DES DANGERS (suite)

**Maladie auto-immune :** Certaines études montrent que la silicose ou l'exposition à la silice cristalline respirable (sans silicose) peut être associée à une incidence accrue de plusieurs affections auto-immunes, telles que la sclérodermie (épaississement de la peau), le lupus érythémateux aigu disséminé, la polyarthrite rhumatoïde et certaines maladies affectant les reins.

**Tuberculose :** La silicose augmente le risque de tuberculose.

**Maladie rénale :** Certaines études montrent une incidence accrue de maladie rénale chronique et d'insuffisance rénale terminale chez les ouvriers exposés à la silice cristalline respirable.

**Ingestion :** Ne pas avaler le ciment. Bien que l'ingestion de petites quantités de ciment ne cause aucun préjudice connu, de grandes quantités peuvent provoquer des brûlures chimiques de la bouche, de la gorge, de l'estomac et des voies digestives.

#### Problèmes médicaux

**aggravés par l'exposition :** L'état des personnes souffrant d'une maladie des poumons (par exemple, bronchite, emphysème, bronchopneumopathie chronique obstructive, maladie pulmonaire) ou d'une sensibilité au chrome hexavalent peut être aggravé par une exposition.

### Section 4 : MESURES DE PREMIERS SECOURS

**Contact avec les yeux :** Rincer soigneusement les yeux avec de l'eau pendant au moins 15 minutes, y compris sous les paupières, pour enlever toutes les particules. Obtenir une assistance médicale pour les abrasions et les brûlures.

**Contact avec la peau :** Laver avec de l'eau fraîche et un savon de pH neutre ou un détergent doux pour la peau. Obtenir une assistance médicale en cas d'éruption cutanée, de brûlure, d'irritation, de dermatite ou d'exposition prolongée sans protection au ciment mouillé, à des mélanges de ciment ou à des liquides provenant de ciment mouillé.

**Inhalation :** Sortir la personne à l'air libre. Obtenir une assistance médicale en cas de gêne, ou si la toux ou d'autres symptômes ne se résorbent pas.

**Ingestion :** Ne pas provoquer le vomissement. Si la personne est consciente, lui faire boire beaucoup d'eau. Obtenir une assistance médicale ou contacter immédiatement un centre anti-poison.

**Avis aux médecins :** Les trois types de silicose sont :

- Silicose chronique simple – qui résulte d'une exposition à long terme (plus de 20 ans) à de faibles quantités de silice cristalline respirable. Des nodules d'inflammation chronique et des lésions provoquées par la silice cristalline respirable se forment dans les poumons et au niveau des ganglions lymphatiques de la poitrine. Cette maladie peut s'accompagner de difficultés respiratoires et ressembler à une bronchopneumopathie chronique obstructive.
- Silicose accélérée – survient après une exposition à des quantités plus importantes de silice cristalline respirable pendant une période plus brève (5-15 ans). L'inflammation, les lésions et les symptômes progressent plus rapidement dans le cas d'une silicose accélérée que dans le cas d'une silicose simple.



Fiche signalétique : Ciment Portland Lafarge

#### Section 4 : MESURES DE PREMIERS SECOURS (suite)

- Silicose aiguë – résulte d'une exposition de courte durée à de très grandes quantités de silice cristalline respirable. Les poumons deviennent très enflammés et peuvent se remplir de liquide, provoquant d'importantes difficultés respiratoires et de faibles taux d'oxygène dans le sang.

Une fibrose massive progressive peut avoir lieu dans les cas de silicose simple ou accélérée, mais elle est plus courante avec la forme accélérée. La fibrose massive progressive résulte de lésions importantes et conduit à la destruction des structures pulmonaires normales.

#### Section 5 : MESURES DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

Point d'éclair et méthode :	Non combustible	Équipements de lutte contre l'incendie :	Le ciment ne pose aucun risque d'incendie. Un système respiratoire autonome est recommandé pour limiter les expositions aux produits de combustion lors de la lutte contre un incendie.
Risque général :	Éviter de respirer les poussières du produit. Le ciment mouillé est caustique.		
Moyens d'extinction :	Utiliser des moyens d'extinction appropriés pour le feu environnant.	Produits de combustion :	Aucun.

#### Section 6 : MESURES EN CAS DE DISPERSION ACCIDENTELLE

**Général :** Mettre le produit renversé dans un récipient. Éviter les actions qui dispersent le ciment dans l'air. Éviter toute inhalation du ciment et le contact avec la peau. Porter les équipements de protection appropriés décrits dans la section 8. Râcler le ciment mouillé et le mettre dans un récipient. Laisser le produit sécher ou se solidifier avant de le mettre au rebut. Ne pas évacuer le ciment dans des égouts, des systèmes de drainage ni des étendues d'eau (par exemple, dans un ruisseau).

**Méthode d'élimination des déchets :** Éliminer le ciment conformément aux réglementations gouvernementales, provinciales et locales.

#### Section 7 : MANIPULATION ET STOCKAGE

**Général :** Garder au sec jusqu'à son utilisation le ciment en vrac et en sac. Empiler les sacs de produit de manière sûre pour qu'ils ne tombent pas. Le ciment en sac est lourd et pose des risques tels que des entorses et des foulures du dos, des bras, des épaules et des jambes lorsqu'il faut le soulever et le mélanger. Manipuler avec précaution et utiliser des mesures de contrôle appropriées.

Risque d'ensevelissement. Pour éviter l'ensevelissement ou la suffocation, ne pas entrer dans un espace confiné, tel qu'un silo, une benne, un camion en vrac ou un autre récipient ou cuve de stockage qui contient du ciment. Le ciment peut s'accumuler ou adhérer aux parois d'un espace confiné. Le ciment peut se détacher, s'effondrer ou tomber de façon inattendue.

Relier correctement à la terre tous les systèmes de transport pneumatiques. Il existe un risque d'accumulation et de décharge d'électricité statique lorsque des poudres de ciment sont acheminées dans un système de transport pneumatique en plastique, non conducteur ou non relié à la terre. La décharge statique pourrait endommager les équipements et occasionner des blessures pour les ouvriers.





Fiche signalétique : Ciment Portland Lafarge

### Section 7 : MANIPULATION ET STOCKAGE (suite)

Utilisation :	Toute opération de découpe, de concassage ou de meulage de ciment durci, de béton ou d'autres matériaux contenant de la silice cristalline provoque la dispersion de silice cristalline respirable. Utiliser toutes les mesures appropriées de contrôle ou de suppression des poussières, ainsi que les équipements de protection personnelle décrits dans la section 8 ci-dessous.		
Entretien des locaux :	Lors du nettoyage, éviter les actions qui dispersent le ciment dans l'air, telles que le balayage à sec ou l'utilisation d'air comprimé. Utiliser un aspirateur à filtre HEPA ou mouiller soigneusement avec de l'eau pour nettoyer la poussière. Utiliser les équipements de protection personnelle décrits dans la section 8 ci-dessous.		
Température de stockage :	Illimitée.	Pression de stockage :	Illimitée.
Vêtements :	Retirer rapidement et laver les vêtements qui sont couverts de poussière de ciment ou mouillés de ciment. Laver soigneusement la peau après une exposition à de la poussière de ciment ou à du ciment mouillé.		

### Section 8 : MOYENS DE CONTRÔLE DE L'EXPOSITION ET PROTECTION PERSONNELLE

**Moyens mécaniques de contrôle :** Utiliser un dispositif d'aspiration localisée, de ventilation générale ou d'autres méthodes de suppression pour maintenir la concentration de poussières sous la limite d'exposition.

#### Équipements de protection personnelle :

**Protection respiratoire :** Dans des conditions ordinaires, aucune protection respiratoire n'est requise. Porter un système respiratoire homologué par NIOSH, correctement ajusté et en bon état, lors d'une exposition à une concentration de poussières supérieure à la limite prescrite.

**Protection oculaire :** Lors de toute manipulation de poussière ou de ciment mouillé, porter des lunettes ou des lunettes de sécurité homologuées par ANSI afin d'éviter tout contact avec les yeux. Lors d'une utilisation de ciment, il n'est pas recommandé de porter des lentilles de contact en présence de poussières.

**Protection de la peau :** Porter des gants, des couvre-bottes et des vêtements de protection imperméables à l'eau pour éviter tout contact avec la peau. Ne pas utiliser de crèmes protectrices à la place de gants imperméables. Retirer les vêtements et les équipements de protection qui sont saturés de ciment mouillé et laver immédiatement les zones exposées.

### Section 9 : PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

État physique :	Solide (poudre).	Vitesse d'évaporation :	Sans objet.
Aspect :	Poudre grise, blanc cassé ou blanche.	pH (dans de l'eau) :	12 – 13
Odeur :	Aucune.	Point d'ébullition :	>1000 °C
Tension de vapeur :	Sans objet.	Point de congélation :	Aucun, solide.
Densité de vapeur :	Sans objet.	Viscosité :	Aucune, solide.
Poids spécifique :	3,15	Solubilité dans l'eau :	Légère (0,1 - 1,0 %)

### Section 10 : STABILITÉ ET RÉACTIVITÉ

Stabilité :	Stable. Garder au sec jusqu'à l'emploi. Éviter tout contact avec des matières incompatibles.
-------------	--





Fiche signalétique : Ciment Portland Lafarge

#### Section 10 : STABILITE ET REACTIVITE (suite)

**Incompatibilité :** Le ciment mouillé est alcalin ; il est incompatible avec les acides, les sels d'ammonium et l'aluminium métallique. Le ciment se dissout dans l'acide fluorhydrique pour produire un gaz corrosif, le tétrafluorure de silicium. Le ciment réagit avec l'eau pour former des silicates et de l'hydroxyde de calcium. Les silicates réagissent avec les oxydants puissants, tels que le fluor, le trifluorure de bore, le trifluorure de chlore, le trifluorure de manganèse et le difluorure d'oxygène.

**Polymérisation dangereuse :** Aucune.

**Décomposition dangereuse :** Aucune.

#### Sections 11 et 12 : INFORMATIONS TOXICOLOGIQUES ET ECOLOGIQUES

Pour toute question concernant les informations toxicologiques et écologiques, se reporter aux informations de contact dans la section 1.

#### Section 13 : CONSIDERATIONS CONCERNANT L'ÉLIMINATION DES DECHETS

Éliminer les déchets et les récipients de façon conforme à toutes les réglementations gouvernementales, provinciales et locales.

#### Section 14 : INFORMATIONS RELATIVES AU TRANSPORT

Selon les réglementations DOT (États-Unis) et TMD (Canada), ce produit n'est pas classé comme une matière dangereuse.

#### Section 15 : INFORMATIONS RÉGLEMENTAIRES

**OSHA/MSHA, communication des dangers :** Ce produit est considéré par OSHA/MSHA comme un produit chimique dangereux et doit être inclus dans le programme de communication des dangers de l'employeur.

**CERCLA/SUPERFUND :** Ce produit n'est pas répertorié comme une substance dangereuse par le CERCLA.

**EPCRA SARA Title III :** Ce produit a été examiné conformément aux « Catégories de danger » de l'EPA figurant dans les sections 311 et 312 du Superfund Amendment and Reauthorization Act de 1986 ; il est considéré comme un produit chimique dangereux et un risque différé pour la santé.

**EPRCA SARA Section 313 :** Ce produit ne contient aucune des substances visées par les normes de déclaration de la section 313 de l'article III du Superfund Amendments and Reauthorization Act de 1986 et de 40 CFR partie 372.

**RCRA :** S'il est mis au rebut tel qu'il a été acheté, ce produit n'est pas un déchet dangereux, à la fois parce qu'il ne figure pas sur les listes de déchets dangereux et en raison de ses caractéristiques. Cependant, selon la RCRA, il incombe à l'utilisateur du produit de déterminer au moment de la mise au rebut si un matériau contenant le produit ou dérivé du produit doit être considéré un déchet dangereux.

**TSCA :** Le ciment Portland et la silice cristalline sont exemptés de déclaration en vertu de la règle de mise à jour des inventaires.

**Proposition 65 (Californie) :** La silice cristalline (particules en suspension dans l'air de taille respirable) et le chrome (composés hexavalents) sont des substances reconnues par l'État de Californie comme causes de cancer.

**SIMDUT/LIS :** Les produits contenant de la silice cristalline et du carbonate de calcium sont classés dans la catégorie D2A, E et sont assujettis aux normes du SIMDUT.





Fiche signalétique : Ciment Portland Lafarge

## Section 16 : AUTRES INFORMATIONS

## Abréviations :

>	Supérieur à	Sans objet	Sans objet
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists	NFPA	National Fire Protection Association
N° CAS	Numéro du Chemical Abstracts Service	NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
CERCLA	Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act	NTP	National Toxicology Program
		OSHA	Occupational Safety and Health Administration
CFR	Code for Federal Regulations	PEL	Permissible Exposure Limit (limite d'exposition admissible)
PI	Plafond	pH	Logarithme négatif de la concentration en ion hydrogène
DOT	US Department of Transportation (ministère des Transports des États-Unis)	PPE	Équipement de protection personnelle
HNE	Heure normale de l'Est	R	Particules respirables
HEPA	High-Efficiency Particulate Air (filtre à particules à haute efficacité)	RCRA	Resource Conservation and Recovery Act
HMIS	Hazardous Materials Identification System	SARA	Superfund Amendments and Reauthorization Act
CIRC	Centre international pour la recherche sur le cancer	T	Particules totales
		TMD	Transport des marchandises dangereuses
CL <sub>50</sub>	Concentration létale	TLV	Threshold Limit Value (seuil acceptable d'exposition)
DL <sub>50</sub>	Dose létale	MPT	Moyenne pondérée au cours du temps (8 heures)
mg/m <sup>3</sup>	Milligrammes par mètre cube	SIMDUT	Système d'Informations sur les matières dangereuses utilisées au travail
MSHA	Mine Safety and Health Administration		

Cette fiche signalétique (sections 1-16) a été révisée le 1 mars 2014.

Une version électronique de cette fiche signalétique est disponible en langue anglaise à : [www.lafarge-na.com](http://www.lafarge-na.com), sous la section de durabilité (Sustainability). S'il vous plaît toute question concernant le contenu de cette fiche de SDSinfo@Lafarge.com.

Lafarge North America Inc. (LNA) considère les informations contenues dans la présente exactes ; cependant, LNA n'accorde aucune garantie en ce qui concerne l'exactitude de ces informations et n'assume aucune responsabilité en rapport avec l'utilisation des informations contenues dans la présente, qui ne sont pas censées être et ne doivent pas être interprétées comme un conseil juridique ni comme une assurance de conformité aux lois ou réglementations gouvernementales, provinciales ou locales. Toute partie utilisant ce produit doit prendre connaissance de ces lois, règles ou réglementations avant l'emploi, y compris, de façon non limitative, les réglementations gouvernementales, provinciales et des états des États-Unis et du Canada.

AUCUNE GARANTIE, EXPRESSE OU TACITE, QUE LE PRODUIT EST PROPRE À LA VENTE OU ADAPTÉ À UN OBJECTIF PARTICULIER, OU DE TOUTE AUTRE NATURE, N'EST ACCORDEE.



# LAFARGE

## Ciment hydraulique composé Tercem 3000®

Procure de la flexibilité au béton en  
lui permettant d'atteindre :

Une résistance ultime plus élevée

Une plus grande durabilité

Une perméabilité réduite

Une rhéologie améliorée

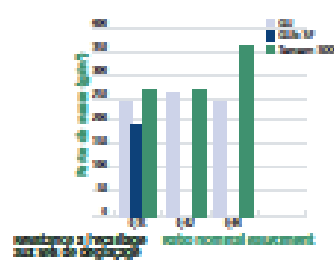
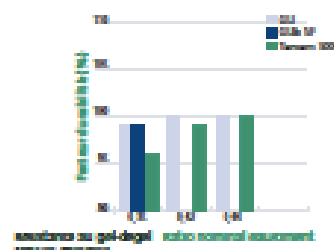
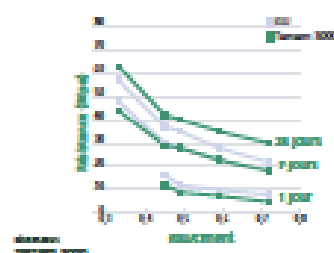
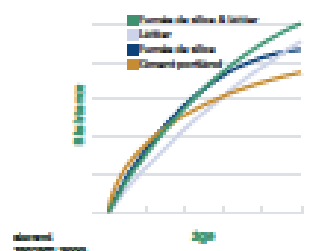
Une meilleure finition

Et d'avoir moins d'impact  
sur l'environnement



## Tercem 3000® Un ciment hydraulique composé

### De meilleures performances pour l'industrie du béton



Le Tercem 3000 de Lafarge est un ciment hydraulique ternaire à haute performance qui offre des qualités élevées de résistance et de durabilité. Il se compose de ciment portland, de laitier de hauts-fourneaux granulé et de fumée de silice. C'est un matériau idéal dans des applications qui requièrent un béton à haute performance. Le Tercem 3000 convient aussi parfaitement aux murs, fondations, poutres, colonnes, ouvrage de rétention des eaux, produits préfabriqués et précontraints, routes, ponts et planchers industriels. Le Tercem 3000 donne en outre d'excellents résultats dans du béton compacté au rouleau.

Le Tercem 3000 est utilisé depuis 1998 pour produire du béton de qualité obéissant aux exigences strictes qu'impose la conception de bétons résistants et durables. Les matériaux qui composent le Tercem 3000 agissent en synergie pour produire un béton à haute résistance, capable de mieux résister aux réactions alcalis-granulats, aux attaques des sulfates et présentant une perméabilité réduite. Le Tercem 3000 résiste bien aux cycles de gel-dégel lors d'essais effectués selon la norme ASTM C-666 de même qu'à l'écaillage causé par les sels de déglacage lorsque soumis à des essais conformes à la norme ASTM C-672. Le Tercem 3000 respecte les exigences du Bureau de normalisation du Québec 2521-900 à l'égard de la résistance à l'écaillage au déglacage. Comme pour tous les bétons, pour présenter une bonne résistance au cycle gel-dégel et à l'écaillage sous l'effet des sels de déglacage, il est essentiel que le mélange soit bien conçu et que sa finition et sa cure soient conformes aux normes et spécifications ACI et CSA.

Le Tercem 3000 contient des matériaux post industriels et peut être utilisé pour réaliser des travaux qui obéissent aux principes de développement durable. Selon les spécifications du projet, l'emploi de Tercem 3000 peut permettre d'acquiescer des crédits LEED.

Le Tercem 3000 de Lafarge respecte les exigences applicables des normes CSA A3000 Compendium des matériaux cimentaires, A3001 Ciment hydraulique composé et ASTM C 1157 Standard Performance Specification for Hydraulic Cement.

Chaque fois qu'on utilise le Tercem 3000, il faut suivre les spécifications particulières du chantier, les normes locales, ainsi que les normes CSA et ACI.



#### Avantages du ciment hydraulique composé Tercom 3000\*

- Résistance à 28 jours plus élevée
- Perméabilité réduite
- Faible ressuage
- Résistance accrue aux réactions alcalis-silice
- Résiste mieux aux attaques des sulfates
- Durabilité accrue
- Ne requiert qu'un seul silo
- Finition plus facile

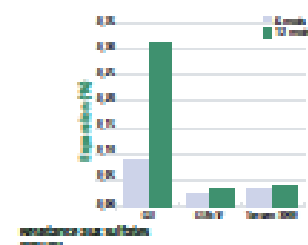
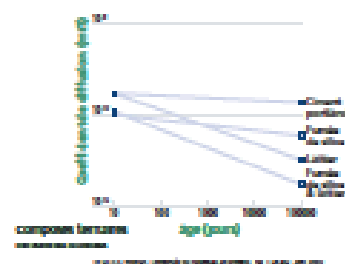
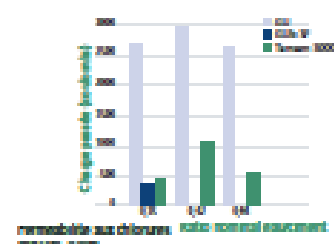
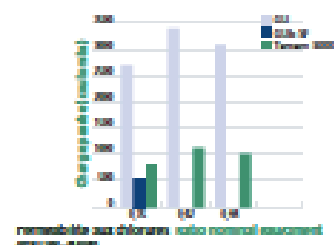
Les données graphiques reflètent les résultats obtenus dans les laboratoires de Lafarge. Ces résultats peuvent varier d'une situation à l'autre et devraient être validés lorsqu'on recherche des propriétés spécifiques.

L'efficacité de chaque produit repose sur une utilisation appropriée et conforme aux normes reconnues de l'industrie. Au besoin, communiquez avec le représentant de Lafarge North America de votre région.





Les ciments composés Lafarge contribuent de façon significative au développement durable de la construction. Leur emploi dans la fabrication du béton permet d'épargner l'énergie et de réaliser plus efficacement des ouvrages plus performants. Ces matériaux peuvent aussi aider à acquérir des crédits LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) au USGBC's (U.S. Green Building Council) et au CaGBC's (Canada Green Building Council).





## Tercem 3000® Un ciment hydraulique composé

### Propriétés du béton frais

**Besoins en eau** – Le Tercem 3000 contient de la fumée de silice, un matériau très fin qui généralement exige un choix judicieux d'adjuvants pour limiter l'apport en eau et les pertes d'affaissement et obtenir une performance maximale du mélange. Un mélange bien conçu qui renferme du Tercem 3000 devrait conserver un excellent affaissement même si le rapport eau-ciment est faible.

**Teneur en air** – Lors d'un changement d'ingrédient dans un mélange, il est recommandé de vérifier le dosage d'entraîneur d'air et d'apporter les correctifs requis.

**Ségrégation et ressuage** – Le béton qui renferme de ce ciment peut contenir peu d'eau de ressuage et parfois ne pas en contenir du tout. Ce produit contribue à réduire la ségrégation.

**Chaleur d'hydratation** – Il faut prendre certaines précautions quand on utilise ce ciment ou tout autre produit liant dans du béton de masse afin que les gradients de température ne dépassent pas ceux prescrits par les normes de l'industrie ou les spécifications.

**Temps de prise** – Le temps de prise du Tercem 3000 est en général le même que celui du ciment GU.

**Finition** – La finition du béton qui contient du Tercem 3000 est analogue à celle des mélanges qui ne contiennent que du ciment portland. Cependant, elle est supérieure à celle des mélanges binaires de ciment portland et de fumée de silice.

**Pompabilité** – Le pompage du béton qui contient ce ciment est en général aussi facile ou même meilleur que celui des bétons qui ne contiennent que du ciment portland.

**Dosage** – L'emploi de ce ciment ne requiert aucun dosage spécial. Les proportions doivent être établies conformément à la norme ACI 211 et le mélange final doit obéir aux dispositions applicables de la norme CSA A23.1. Des gâchées d'essai devraient être exécutées avant de faire usage de ce produit afin de préciser les proportions requises pour obtenir la résistance et la durabilité voulues.

**Cure** – Une cure adéquate est essentielle à tous les bétons. Une attention particulière à cet égard est nécessaire lorsqu'on utilise du Tercem 3000 à cause de la réduction de la quantité d'eau de ressuage et devrait être apportée immédiatement après la finition. Des fissures apparaîtront à la surface du béton s'il sèche prématurément.

### Propriétés du béton dur

**Résistance** – Utilisé adéquatement, ce ciment permet d'augmenter la résistance du béton en compression et en flexion comparativement au béton qui ne contient que du ciment portland.

**Perméabilité** – Dans un mélange bien conçu, la perméabilité du béton qui contient du Tercem 3000 diminue considérablement comparativement au béton qui ne contient que du ciment portland.

**Réactivité alcalis-silice (réaction alcalis-granulats)** – Les résultats des essais démontrent que le Tercem 3000 entraîne une augmentation de la résistance à la réaction alcalis-silice. Son aptitude à atténuer cette réactivité devrait être vérifiée à partir d'échantillons prélevés sur le chantier.

**Résistance à l'attaque des sulfates** – Le Tercem 3000 peut être employé dans un système conçu pour améliorer la résistance du béton aux attaques des sulfates. La faculté d'atténuer les attaques des sulfates doit être confirmée à partir d'échantillons prélevés sur le chantier.

**Résistance au gel et dégel** – Le Tercem 3000 fait preuve d'une bonne résistance au gel et dégel lorsqu'il est soumis à des essais conformes à la norme ASTM C-666 sur la résistance au gel et dégel. Comme pour tous les bétons, pour présenter une bonne résistance au gel et dégel, il est essentiel que le mélange soit bien conçu et que sa finition et sa cure soient conformes aux normes et spécifications ACI et CSA.

**Écaillage au déglacage** – Le Tercem 3000 répond à toutes les spécifications de la norme BNQ 2621-900 et, lorsqu'il est soumis à des essais conformément aux exigences de la norme ASTM C-672, il fait preuve d'une bonne résistance à l'écaillage au déglacage. Comme pour tous les bétons, pour présenter une bonne résistance à l'écaillage sous l'effet des sels de déglacage, il est essentiel que le mélange soit bien conçu et que sa finition et sa cure soient conformes aux normes et spécifications ACI et CSA.



### Énoncé général

En général, ce ciment est utilisé pour ses hautes performances dans des situations qui nécessitent des résistances et une durabilité accrues. Pour profiter de ces qualités ou de ses autres propriétés spéciales, une attention particulière doit être apportée au dosage, au gâchage, à la mise en place, à la finition et à la cure du béton qui en contient. Pour toute aide technique, adressez-vous à un représentant des services techniques de Lafarge, secteur Ciment.

### Précautions

Éviter tout contact direct avec du ciment humide. En cas d'accident, laver la peau avec de l'eau aussitôt que possible. Une exposition peut entraîner des brûlures chimiques (caustiques) susceptibles d'endommager gravement les tissus et souvent de façon avec de l'eau sans attendre et consulter un médecin. Pour plus d'information, vous en référer aux fiches de données Material Safety Data Sheets (MSDS) pertinentes de Lafarge. Prendre connaissance de ces fiches de données avant de faire usage de ce produit. Ces fiches sont disponibles sur demande et par Internet à l'adresse [www.lafarge-na.com](http://www.lafarge-na.com).



#### Profil de l'entreprise

Lafarge North America est membre du groupe Lafarge. Chef de file de l'industrie mondiale des matériaux de construction, le groupe Lafarge est actif sur cinq continents et occupe les positions de tête dans ses quatre secteurs d'activités : le ciment, les granulats, le béton et le gypse.

En se concentrant sur le développement et l'amélioration des matériaux de construction, Lafarge se préoccupe surtout de ses clients de l'industrie de la construction et du grand public à qui elle offre des solutions innovatrices, susceptibles de rendre notre vie quotidienne plus agréable, plus confortable et plus sécuritaire.

#### Garantie limitée

Lafarge ne porte garantie que le Testes 3000. Lafarge respecte les normes ASTM C 1117 et CSA A3001. Cependant, Lafarge n'offre aucune autre garantie, notamment, quant à la qualité marchande ou la compatibilité du Testes 3000 de Lafarge avec l'usage auquel il est employé. Comme elle n'exerce aucun contrôle sur la façon dont il est utilisé, Lafarge ne peut garantir le produit fini contenant du Testes 3000 Lafarge.

PBT3F

V07



Inspiré par votre engagement

Pour tout renseignement concernant un produit ou sa disponibilité ou pour effectuer une commande, communiquer avec votre succursale de Lafarge.

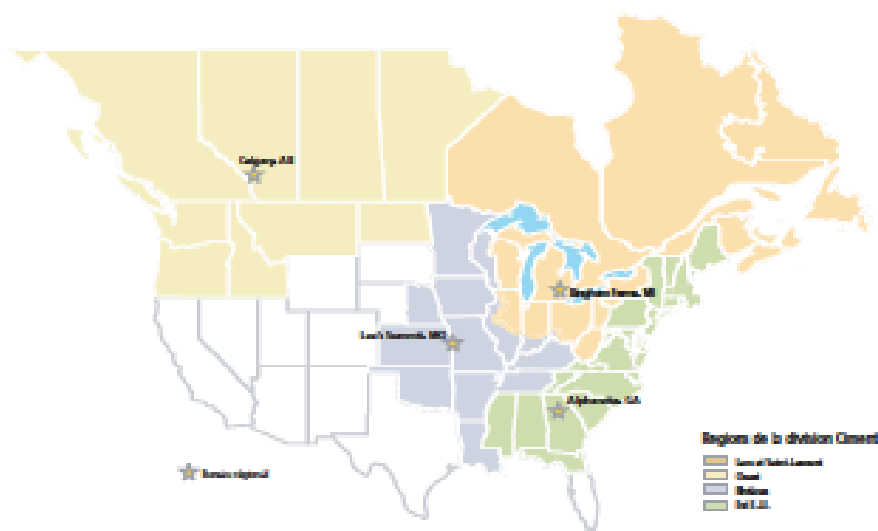
**Région commerciale Lacs et Saint-Laurent**  
Bingham Farms, Michigan  
Téléphone : 248-504-1991

**Région commerciale de l'Est**  
Alpharetta, Georgia  
Téléphone : 678-746-2000

**Région commerciale des Rivières**  
Lee's Summit, Missouri  
Téléphone : 816-251-2100

**Région commerciale de l'Ouest**  
Calgary, Alberta  
Téléphone : 403-271-9110

#### Lafarge North America Division Ciment par zone



**LAFARGE**  
NORTH AMERICA

CIMENT

Lafarge Canada Inc.  
606, rue Cathcart  
Montréal, Québec H3B 1L7

[www.lafarge-na.com](http://www.lafarge-na.com)




# ANNEXE III - FICHES TECHNIQUES DES ADJUVANTS UTILISÉS

(<https://www.euclidchemical.com>)

The Euclid Chemical Company

## PLASTOL 341

**ADJUVANT RÉDUCTEUR D'EAU DE MOYENNE  
PORTÉE ET SUPERPLASTIFIANT**



**EUCLID CANADA**

### DESCRIPTION

PLASTOL 341 est un adjuvant à base de polycarboxylate pour le béton assez versatile pour être utilisé à titre de réducteur d'eau de type A et de type F selon la norme ASTM C 494. Il s'agit d'un superplastifiant et d'un adjuvant plastifiant réducteur d'eau de moyenne portée pour le béton. PLASTOL 341 affiche d'excellentes caractéristiques de finition comparativement aux adjuvants de type A (généralement de 5 à 6 % de réduction de la quantité d'eau) ou de type F (généralement de 12 à 15 % de réduction de la quantité d'eau) traditionnellement utilisés. Cette approche de moyenne portée en matière d'adjuvants réducteurs d'eau permet l'utilisation d'un large éventail de dosages recommandés, ce qui génère un vaste spectre d'application. PLASTOL 341 ne contient pas de chlorure de calcium.

### DOMAINES D'APPLICATION

- Béton prémélangé
- Béton préfabriqué
- Béton coulé sur place
- Béton autoplaçant
- Béton contenant de la cendre volante, du laitier de haut fourneau ou d'autres pouzzolanes naturelles

### CARACTÉRISTIQUES/AVANTAGES

**Béton plastique**

- Facilite la finition
- Améliore la maniabilité
- Réduit la demande en eau
- Améliore le temps de prise
- Offre un excellent maintien de l'affaissement dans le temps

**Béton durci**

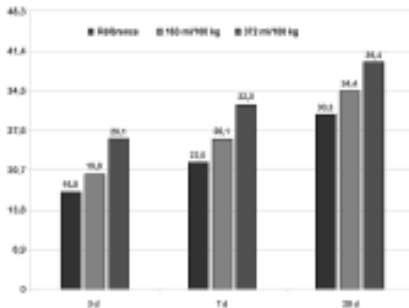
- Augmente les résistances initiale et ultime
- Réduit la perméabilité
- Augmente la durabilité

### DONNÉES TECHNIQUES

**Données relatives à la performance**

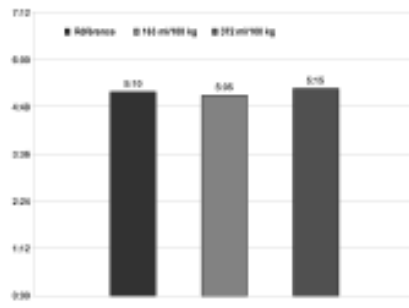
Les résultats d'essai suivants ont été obtenus en utilisant les exigences typiques de formulation de la norme ASTM C 494, 307 kg/m<sup>3</sup> (317 lb/vg<sup>3</sup>) de liant et une teneur en air similaire (± 0,5 %). Ces résultats ont été obtenus en laboratoire avec des matériaux et des formulations qui satisfont aux exigences de la norme ASTM C 494. Des changements de matériaux et de formulations peuvent affecter l'efficacité des dosages de PLASTOL 341.

Résistance à la compression de PLASTOL 341 (MPa)



Jours	Référence	100 ml/100 kg	151 ml/100 kg
28	36,8	39,8	39,1
74	33,8	36,1	33,8
284	39,3	34,4	36,1

Temps de prise de PLASTOL 341 (h:min)



Dosage	Temps de prise (h:min)
Référence	5:10
100 ml/100 kg	5:06
151 ml/100 kg	5:10

RÉDUCTEURS D'EAU DE MOYENNE PORTÉE

PLASTOL 341

FORMAT PRINCIPAL N° 1  
03 30 00 03 40 00  
03 70 00

2835, boul. Grande Allée • Saint-Hubert (Québec) J4T 2R4  
1-800-667-0920 tél. • 450-465-2140 téléc.

[www.euclidchemical.com](http://www.euclidchemical.com)

## EMBALLAGE

PLASTOL 341 est offert en vrac, en contenants de 1000 litres, en barils de 205 litres et en seaux de 20 litres.

## DURÉE DE CONSERVATION

Un an dans son contenant d'origine non ouvert.

## SPÉCIFICATIONS/CONFORMITÉS

PLASTOL 341 satisfait aux exigences des normes suivantes, ou les surpasse :

- ASTM C 494, adjuvants de type A et F
- AASHTO M 194

PLASTOL 341 est certifié à la norme ANSI/NSF STD 61.

PLASTOL 341 est approuvé par les ministères des Transports du Québec (MTQ) et de l'Ontario (MTO).

## MODE D'EMPLOI

PLASTOL 341 est typiquement utilisé à des dosages de 130 à 650 ml par 100 kg de liant. Les dosages recommandés dépendent des caractéristiques des matériaux utilisés dans la formulation. Des dosages supérieurs sont acceptables si des essais préalables sont réalisés et que des confirmations sont obtenues quant à la performance désirée avec les matériaux précis qui seront utilisés.

PLASTOL 341 doit être ajouté à l'eau de gâchage initiale, lorsque possible. Le produit ne doit pas entrer en contact avec du liant sec ou d'autres adjuvants avant que ces derniers ne soient mélangés à la gâchée de béton.

Il est fortement recommandé de procéder à des essais sur site afin d'optimiser les plages de dosage et la performance avec les matériaux locaux.

PLASTOL 341 est compatible avec la plupart des adjuvants, y compris les agents entraîneurs d'air, les accélérateurs, la plupart des réducteurs d'eau, les retardateurs, les réducteurs de retrait, les inhibiteurs de corrosion, les modificateurs de viscosité et la silice micronisée; toutefois, chaque matériau devrait être ajouté au béton séparément.

## PRÉCAUTIONS/LIMITATIONS

- PLASTOL 341 doit demeurer à l'abri du gel.
- Ne pas agiter avec de l'air.
- Ajouter au mélange de béton séparément des autres adjuvants.
- Toujours consulter la fiche de données de sécurité avant l'utilisation.

Révision : 11.14

**GARANTIE** : Sika Chemicals (Sika) s'engage à garantir uniquement et exclusivement que ses produits sont bien adaptés au matériel ou au mode d'utilisation prévus sur le site à l'usage de l'usager. À moins d'être autorisée par écrit par un représentant d'Sika, aucune représentation ou affirmation écrite ou orale par Sika ou ses représentants ne peut modifier cette garantie. EN RAISON DE LA GRANDE VARIÉTÉ DES CIRCONSTANCES DE CHANTIER, RIEN NE PEUT AVOIR GARANTIE IMPLICITE OU EXPLICITE QUANT À LA QUALITÉ LOCALE ET MARCHANDISE OU L'APTITUDE À RÉPARER UNE UTILISATION ORDINAIRE OU PARTICULIÈRE DE SES PRODUITS ET LES RÉSULTATS DE SA GARANTIE POUR LE MATÉRIEL. Si un produit Sika est défectueux pour la garantie, Sika remplacera le produit, sans frais pour l'usager. Le remplacement du produit sera le total et exclusif remède admissible et l'usager n'aura aucun droit supplémentaire pour des dommages supplémentaires ou consécutifs. Toute réclamation doit être faite avant l'expiration de la garantie. Sika n'accepte personnellement, de son nom, à titre d'acte commercial ou de fait qui modifie les droits légitimes et les conditions d'utilisation qui se trouvent sur les boîtes d'emballage ou sur l'emballage. Tout produit Sika qui n'est pas installé selon les recommandations et les instructions d'utilisation pour la garantie. Les représentants des produits, s'ils les a, sont bien évidemment pour fournir l'information du produit. Sika ne sera tenu pour aucune garantie ou responsabilité à la garantie. L'usager doit toujours s'engager à la performance de son produit Sika des fonctions des utilisateurs qu'il veut les faire.

The Euclid Chemical Company

# EUCON AEA-92

AGENT ENTRAÎNEUR D'AIR POUR LE BÉTON



EUCLID CANADA

ENTRAÎNEURS D'AIR

## DESCRIPTION

EUCON AEA-92 est formulé pour être utilisé à titre d'adjuvant entraîneur d'air pour tous les types de béton et est fabriqué dans des conditions rigoureusement contrôlées, ce qui assure une performance uniforme et précise. Il doit être ajouté au mélange de béton séparément et non avec d'autres adjuvants.

## DOMAINES D'APPLICATION

- Béton prêt à l'emploi
- Béton structural
- Béton de masse
- Béton de revêtement
- Tout béton extérieur

## CARACTÉRISTIQUES/AVANTAGES

- Produit un réseau de bulles d'air stable dans lequel la taille des bulles et l'espacement entre les bulles sont adéquats. Ce réseau de bulles d'air protège le béton contre les dommages causés par les cycles de gel/dégel répétés
- Augmente la résistance du béton aux sels déglacants, aux attaques des sulfates et à l'eau corrosive
- Réduit la quantité d'eau de gâchage requise par mètre (verge) de béton et améliore sa maniabilité
- Minimise le ressuage et la ségrégation du béton

## DONNÉES TECHNIQUES

EUCON AEA-92 est une solution aqueuse composée de produits chimiques organiques synthétiques. Le produit est compatible avec les mélanges de béton qui contiennent du chlorure de calcium, des adjuvants réducteur d'eau, des retardateurs de prise ou des superplastifiants.

## EMBALLAGE

EUCON AEA-92 est offert en vrac, en contenants de 1041 litres (275 gal), en barils de 208 litres (55 gal) et en seaux de 18,9 litres (5 gal).

## DURÉE DE CONSERVATION

Deux ans dans son contenant d'origine non ouvert.

## SPÉCIFICATIONS/CONFORMITÉS

EUCON AEA-92 satisfait ou surpasse les exigences des spécifications suivantes :

- Corps of Engineers, spécification CRD C-13
- ASTM C 260
- AASHTO M 184
- ANSI/NSF STD 61

EUCON AEA-92

FORMAT PRINCIPAL N° :  
03 30 00 03 40 00  
03 70 00

## MODE D'EMPLOI

EUCON AEA-92 est typiquement utilisé à des dosages de 6 à 260 ml par 100 kg de liant pour entraîner de 3 à 6 % d'air dans le béton. La quantité d'EUCON AEA-92 varie en fonction du type de liant, de la finesse du sable, de la température, de la conception du mélange, de la présence d'autres adjuvants, etc. Les mélanges de béton doivent être testés de façon régulière afin de confirmer la présence d'une teneur en air adéquate. EUCON AEA-92 devrait être ajouté directement au sable pour une performance optimale.

## PRÉCAUTIONS/LIMITATIONS

- Veuillez consulter votre représentant Euclid afin de connaître les ajustements de dosage requis lorsque de la cendre volante, du laitier de haut fourneau ou des superplastifiants sont utilisés.
- Ajouter au mélange séparément des autres adjuvants.
- Toujours consulter la fiche de données de sécurité avant l'utilisation.

Révision : 11.14

**GAUWANTE** (Euclid Cement, Euclid), garanti uniquement et exclusivement que les produits sont strictement conformes au matériel ou de maintenance présentés au mode d'emploi de l'usine. À moins d'être autorisée par écrit par un représentant d'Euclid, aucune représentation ou affirmation relative au droit de Euclid et ses représentants ne peut résulter de cette garantie. EN RAISON DE LA GRANDE VARIATION DES CONDITIONS DE CHAUFFAGE, EUCON NE FAIT AUCUNE GARANTIE IMPLICITE OU EXPLICITE QUANT À LA QUALITÉ CHIMIQUE CHAUFFAGE EN HAUT FOURNEAU OU L'APPRÊT D'UNIFORMITÉ OU L'UNIFORMITÉ CHIMIQUE DE SES PRODUITS ET LES ÉCARTS DE LA GARANTIE PAR LE MÊME. Si un produit Euclid ne répond pas à la garantie, Euclid remplacera le produit, sans frais pour l'utilisateur. Le remplacement du produit doit être fait et doit être effectué rapidement et l'utilisateur d'Euclid assurera toutes les dispositions pour être appropriées supplémentaires ou nécessaires. Toute substitution doit être faite sans retard et l'utilisateur, Euclid n'accepte personnellement aucun responsabilité de l'utilisateur d'Euclid ou de l'utilisateur pour être appropriées supplémentaires ou nécessaires. Tous les produits Euclid qui n'ont pas été testés selon les recommandations et les instructions d'utilisation sont garantis. Les utilisateurs de produits, s'il y en a, sont invités à consulter pour obtenir l'utilisation du produit. Euclid n'accepte pas une garantie ou une responsabilité à la garantie. L'utilisateur doit l'unique responsabilité pour déterminer la performance des produits Euclid des brevets des utilisateurs qu'il veut les faire.

# ANNEXE IV - DONNÉES DÉTAILLÉES OPTIMISATIONS FULLER THOMPSON

## Béton témoin

### Optimisation granulaire complete

**Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton**  
Par Richard Gagné - CRIB Sherbrooke  
et Pierre Lemieux - Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke

Diametre nominal maximal du granulat : 31.5 mm  
Type de sable : Mélangé DJL Inc Mf=2,56  
Type de pierre : St-Dominique  
Type de ciment : Type GU et GUb  
Matériau fin #1 : Non  
Matériau fin #2 : Non

Exposant de la fonction  
de distribution : 0.45

Tamis (mm)	Tamisats des classes granulaires (%)				Matériaux fins (<160 µm)			Combiné total	Visé (%)	Écart (%)	Écart au carré
	GN5-14	GN5/20	GRBG31.5mm	Sb DJL	Ciment	Cendre	FS				
40	100	100.0	100.0	100.0				100	100	0	0
28	100	100.0	86.8	100.0				100	95	5	27
20	100	96.3	74.4	100.0				98	82	17	276
14	82.3	58.7	62.7	100.0				78	69	9	77
10	40.7	47.9	50.9	100.0				70	60	11	116
5	2.9	8.6	36.2	96.7				47	44	3	11
2.5	1.0	1.4	25.9	84.2				38	32	6	34
1.25	0.8	0.8	17.7	70.7				32	23	8	66
0.630	0.0	0.1	7.5	54.9				24	17	7	49
0.315			2.0	30.4				13	13	1	1
0.160			0.4	7.5				3	9	-6	36
0.087			0.2	0.2							
0.054			0.0	0.0							
0.028											
0.022											
0.010											
0.005											
0.002											
Densité	2.72	2.74	2.31	2.65	3.14	2.40	2.20				
	5.6	50.4	0.0	44.0	0.0	0.0	0.0	100			692
	15.2	138.1	0.0	116.6	0.0	0.0	0.0				
Granulats (%) : 100					Fines (%) : 0						
	6	50	0	44	0	0	0				

Proportion de criblure dans  
le granulat fin (<= 5 mm) :

100 (%)

Proportion de cendres  
dans les fines :

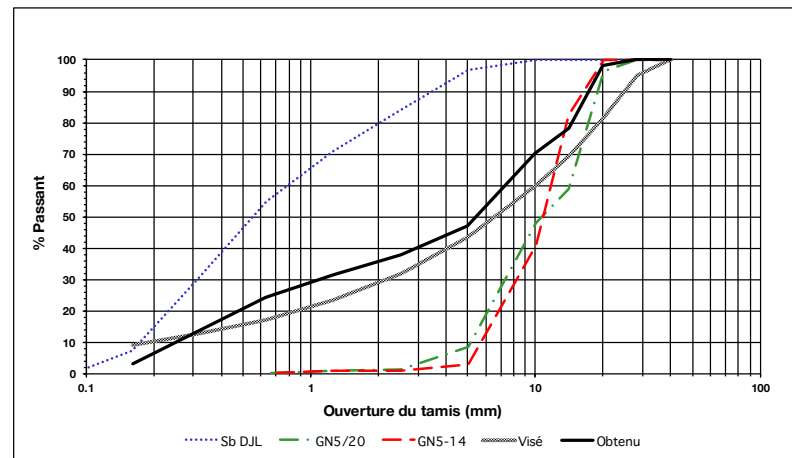
0 (%)

Proportion de fumée de silice  
dans les fines :

0 (%)

Proportions massiques corrigées en fonction des densités (%)						
GN5-14	GN5/20	GRBG31.5mm	Sb DJL	0.0	Ciment	Cendre FS
5.6	51.2	0.0	43.2	0.0	0.0	0.0 0.0

0 Pourcentage de GR par rapport au partie grosse totale



Optimisation granulaire 0% GR - Béton Témoin

Granulat 31,5 mm (10% GR)

Optimisation granulaire complete

Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton

Par Richard Gagné - CRIB Sherbrooke

et Pierre Lemieux - Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke

Diametre nominal maximal du granulat: 31,5 mm

Type de sable: Mélange DJL Inc Mf=2,56

Type de pierre: St-Dominique

Type de ciment: Type GU et Gub

Matériau fin #1: Non

Matériau fin #2: Non

Exposant de la fonction

de distribution : 0.45

Tamis (mm)	Tamisats des classes granulaires (%)				Matériaux fins (<160 µm)			Combiné total	Visé (%)	Écart (%)	Écart au carré
	GN5-14	GN5/20	GRBG31.5mm	Sb DJL	Ciment	Cendre	FS				
40	100	100.0	100.0	100.0				100	100	0	0
28	100	100.0	86.8	100.0				99	95	4	18
20	100	96.3	74.4	100.0				97	82	15	225
14	82.3	58.7	62.7	100.0				78	69	8	69
10	40.7	47.9	50.9	100.0				71	60	11	125
5	2.9	8.6	36.2	96.7				49	44	5	29
2.5	1.0	1.4	25.9	84.2				39	32	7	56
1.25	0.8	0.8	17.7	70.7				33	23	9	86
0.630	0.0	0.1	7.5	54.9				25	17	8	56
0.315			2.0	30.4				14	13	1	1
0.160			0.4	7.5				3	9	-6	36
0.087			0.2	0.2							
0.054				0.0							
0.028											
0.022											
0.010											
0.005											
0.002											
Densité	2.72	2.74	2.31	2.65	3.14	2.40	2.20				
	2.5	46.8	6.7	44.0	0.0	0.0	0.0	100			702
	6.7	128.3	15.5	116.6	0.0	0.0	0.0				
Granulats (%)100					Fines (%)0						
	2	47	7	44	0	0	0				

Proportion de criblure dans  
le granulat fin (<= 5 mm) :

100(%)

Proportion de cendres  
dans les fines :

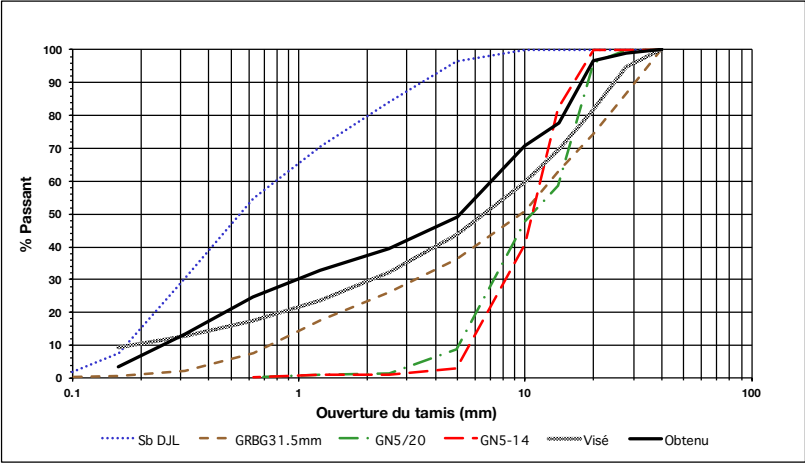
0(%)

Proportion de fumée de silice  
dans les fines :

0(%)

Proportions massiques corrigées en fonction des densités (%)							
GN5-14	GN5/20	GRBG31.5mm	Sb DJL	0.0	Ciment	Cendre	FS
2.5	48.0	5.8	43.7	0.0	0.0	0.0	0.0

10 Pourcentage de GR par rapport au partie grosse totale



Optimisation granulaire 10% GR 31.5 mm

## Granulat 31,5 mm (20% GR)

### Optimisation granulaire complete

**Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton**  
Par Richard Gagné - CRIB Sherbrooke  
et Pierre Lemieux - Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke

Diamètre nominal maximal du granulat : **31.5** mm  
Type de sable : **Mélangé DJL Inc Mf=2,56**  
Type de pierre : **St-Dominique**  
Type de ciment : **Type GU et GUb**  
Matériau fin #1 : **Non**  
Matériau fin #2 : **Non**

Exposant de la fonction de distribution : **0.45**

Tamis (mm)	Tamisats des classes granulaires (%)				Matériaux fins (<160 µm)			Combiné total	Visé (%)	Écart (%)	Écart au carré
	GN5-14	GN5/20	iRBG31.5mm	Sb DJL	Ciment	Cendre	FS				
40	100	100.0	100.0	100.0				100	100	0	0
28	100	100.0	86.8	100.0				98	95	3	12
20	100	96.3	74.4	100.0				95	82	14	189
14	82.3	58.7	62.7	100.0				78	69	9	81
10	40.7	47.9	50.9	100.0				71	60	11	126
5	2.9	8.6	36.2	96.7				51	44	7	49
2.5	1.0	1.4	25.9	84.2				41	32	9	81
1.25	0.8	0.8	17.7	70.7				34	23	10	107
0.630	0.0	0.1	7.5	54.9				25	17	8	63
0.315			2.0	30.4				14	13	1	1
0.160			0.4	7.5				3	9	-6	35
0.087			0.2	0.2							
0.054				0.0							
0.028											
0.022											
0.010											
0.005											
0.002											
Densité	2.72	2.74	2.31	2.65	3.14	2.40	2.20				
	4.3	38.8	12.9	44.0	0.0	0.0	0.0	100			744
	11.7	106.3	29.7	116.6	0.0	0.0	0.0				

Granulats (%) : <b>100</b>					Fines (%) : <b>0</b>		
4	39	13	44	0	0	0	0

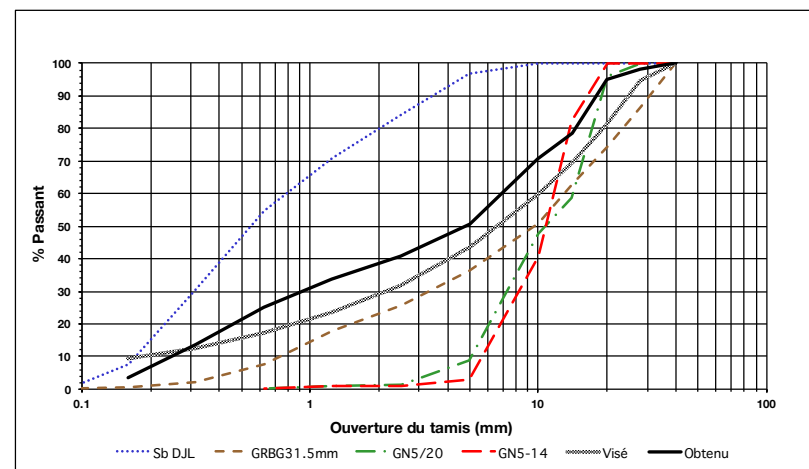
Proportion de criblure dans le granulat fin (<= 5 mm) : **100** (%)

Proportion de cendres dans les fines : **0** (%)

Proportion de fumée de silice dans les fines : **0** (%)

Proportions massiques corrigées en fonction des densités (%)							
GN5-14	GN5/20	iRBG31.5mm	Sb DJL	0.0	Ciment	Cendre	FS
4.4	40.2	11.2	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0

**20** Pourcentage de GR par rapport au partie grosse totale



Optimisation granulaire 20% GR 31.5 mm

Granulat 31,5 mm (35% GR)

Optimisation granulaire complete

Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton

Par Richard Gagné - CRIB Sherbrooke  
et Pierre Lemieux - Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke

Diametre nominal maximal du granulat : 31.5 mm  
Type de sable : Mélangé DJL Inc Mf=2,56  
Type de pierre : St-Dominique  
Type de ciment : Type GU et GUb  
Matériau fin #1 : Non  
Matériau fin #2 : Non

Exposant de la fonction  
de distribution : 0.45

Tamis (mm)	Tamisats des classes granulaires (%)				Matériaux fins (<160 µm)			Combiné total	Visé (%)	Écart (%)	Écart au carré
	GN5-14	GN5/20	iRBG31.5mm	Sb DJL	Ciment	Cendre	FS				
40	100	100.0	100.0	100.0				100	100	0	0
28	100	100.0	86.8	100.0				97	95	2	5
20	100	96.3	74.4	100.0				93	82	12	138
14	82.3	58.7	62.7	100.0				79	69	9	83
10	40.7	47.9	50.9	100.0				71	60	12	134
5	2.9	8.6	36.2	96.7				53	44	10	91
2.5	1.0	1.4	25.9	84.2				43	32	11	125
1.25	0.8	0.8	17.7	70.7				35	23	12	140
0.630	0.0	0.1	7.5	54.9				26	17	9	74
0.315			2.0	30.4				14	13	1	2
0.160			0.4	7.5				3	9	-6	35
0.087			0.2	0.2							
0.054				0.0							
0.028											
0.022											
0.010											
0.005											
0.002											
Densité	2.72	2.74	2.31	2.65	3.14	2.40	2.20				
	3.4	30.7	21.8	44.0	0.0	0.0	0.0	100			827
	9.3	84.2	50.4	116.6	0.0	0.0	0.0				

Granulats (%) : 100				Fines (%) : 0			
3	31	22	44	0	0	0	0

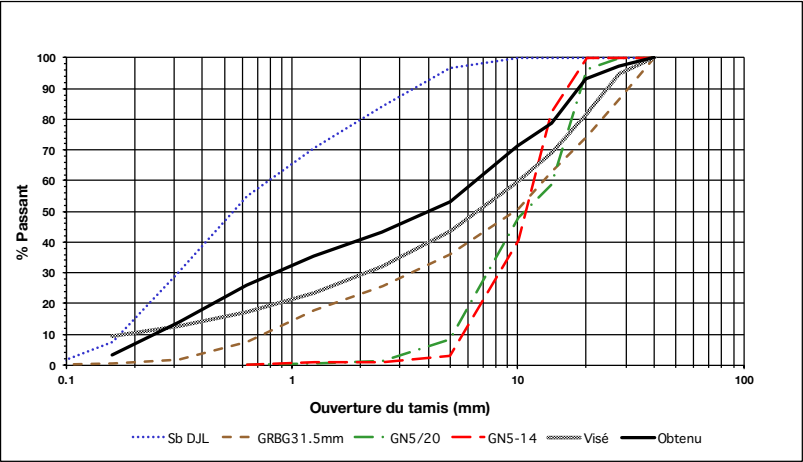
Proportion de criblure dans  
le granulat fin (<= 5 mm) : 100 (%)

Proportion de cendres  
dans les fines : 0 (%)

Proportion de fumée de silice  
dans les fines : 0 (%)

Proportions massiques corrigées en fonction des densités (%)							
GN5-14	GN5/20	iRBG31.5mm	Sb DJL	0.0	Ciment	Cendre	FS
3.6	32.3	19.3	44.8	0.0	0.0	0.0	0.0

35 Pourcentage de GR par rapport au partie grosse totale



Optimisation granulaire 35% GR 31.5 mm



## Granulat 31,5 mm (50% GR)

### Optimisation granulaire complete

**Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton**  
Par Richard Gagné - CRIB Sherbrooke  
et Pierre Lemieux - Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke

Diametre nominal maximal du granulat : **31.5** mm  
Type de sable : **Mélangé DJL Inc Mf=2,56**  
Type de pierre : **St-Dominique**  
Type de ciment : **Type GU et GUb**  
Matériau fin #1 : **Non**  
Matériau fin #2 : **Non**

Exposant de la fonction de distribution : **0.45**

Tamis (mm)	Tamisats des classes granulaires (%)				Matériaux fins (<160 µm)			Combiné total	Visé (%)	Écart (%)	Écart au carré
	GNS-14	GNS/20	IRBG31.5mm	Sb DJL	Ciment	Cendre	FS				
40	100	100.0	100.0	100.0				100	100	0	0
28	100	100.0	86.8	100.0				96	95	1	1
20	100	96.3	74.4	100.0				91	82	10	97
14	82.3	58.7	62.7	100.0				78	69	9	80
10	40.7	47.9	50.9	100.0				72	60	12	144
5	2.9	8.6	36.2	96.7				56	44	12	143
2.5	1.0	1.4	25.9	84.2				45	32	13	175
1.25	0.8	0.8	17.7	70.7				37	23	13	176
0.630	0.0	0.1	7.5	54.9				26	17	9	85
0.315			2.0	30.4				14	13	1	2
0.160			0.4	7.5				3	9	-6	35
0.087			0.2	0.2							
0.054				0.0							
0.028											
0.022											
0.010											
0.005											
0.002											
Densité	2.72	2.74	2.31	2.65	3.14	2.40	2.20				
	1.3	24.5	30.2	44.0	0.0	0.0	0.0	100			938
	3.5	67.1	69.7	116.6	0.0	0.0	0.0				

Granulats (%) : <b>100</b>				Fines (%) : <b>0</b>			
1	24	30	44	0	0	0	0

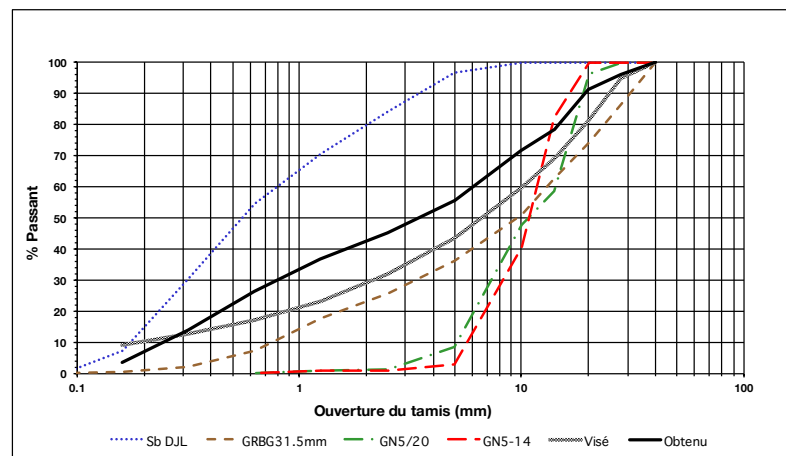
Proportion de criblure dans le granulat fin (<= 5 mm) : **100 (%)**

Proportion de cendres dans les fines : **0 (%)**

Proportion de fumée de silice dans les fines : **0 (%)**

Proportions massiques corrigées en fonction des densités (%)							
GNS-14	GNS/20	IRBG31.5mm	Sb DJL	0.0	Ciment	Cendre	FS
1.4	26.1	27.1	45.4	0.0	0.0	0.0	0.0

**50** Pourcentage de GR par rapport au partie grosse totale



Optimisation granulaire 50% GR 31.5 mm

Granulat 31,5 mm (75% GR)

Optimisation granulaire complete

Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton

Par Richard Gagné - CRIB Sherbrooke

et Pierre Lemieux - Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke

Diametre nominal maximal du granulat : 31.5 mm

Type de sable : Mélangé DJL Inc Mf=2,56

Type de pierre : St-Dominique

Type de ciment : Type GU et GUB

Matériau fin #1 : Non

Matériau fin #2 : Non

Exposant de la fonction  
de distribution : 0.45

Tamis (mm)	Tamisats des classes granulaires (%)				Matériaux fins (<160 µm)			Combiné total	Visé (%)	Écart (%)	Écart au carré
	GN5-14	GN5/20	3RBG31.5mm	Sb DJL	Ciment	Cendre	FS				
40	100	100.0	100.0	100.0				100	100	0	0
28	100	100.0	86.8	100.0				94	95	-1	0
20	100	96.3	74.4	100.0				88	82	7	47
14	82.3	58.7	62.7	100.0				79	69	9	87
10	40.7	47.9	50.9	100.0				72	60	12	155
5	2.9	8.6	36.2	96.7				59	44	16	247
2.5	1.0	1.4	25.9	84.2				49	32	17	274
1.25	0.8	0.8	17.7	70.7				39	23	16	242
0.630	0.0	0.1	7.5	54.9				27	17	10	105
0.315			2.0	30.4				14	13	2	3
0.160			0.4	7.5				3	9	-6	34
0.087			0.2	0.2							
0.054				0.0							
0.028											
0.022											
0.010											
0.005											
0.002											
Densité	2.72	2.74	2.31	2.65	3.14	2.40	2.20				
	0.6	11.7	43.7	44.0	0.0	0.0	0.0	100			1192
	1.7	32.1	100.7	116.6	0.0	0.0	0.0				
Granulats (%) : 100					Fines (%) : 0						
	1	12	44	44	0	0	0				

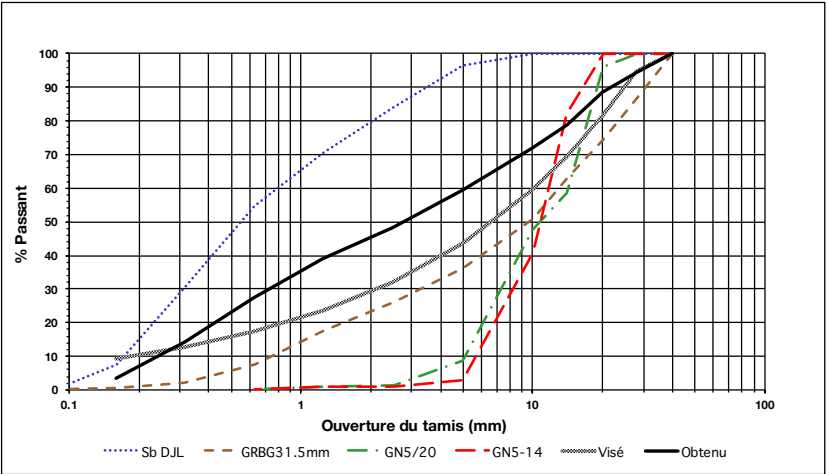
Proportion de criblure dans  
le granulat fin (<= 5 mm) : 100 (%)

Proportion de cendres  
dans les fines : 0 (%)

Proportion de fumée de silice  
dans les fines : 0 (%)

Proportions massiques corrigées en fonction des densités (%)							
GN5-14	GN5/20	3RBG31.5mm	Sb DJL	0.0	Ciment	Cendre	FS
0.7	12.8	40.1	46.4	0.0	0.0	0.0	0.0

75 Pourcentage de GR par rapport au partie grosse totale



Optimisation granulaire 75% GR 31.5 mm

## Granulat 31,5 mm (100% GR)

### Optimisation granulaire complete

**Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton**  
Par Richard Gagné - CRIB Sherbrooke  
et Pierre Lemieux - Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke

Diametre nominal maximal du granulat : **31.5** mm  
Type de sable : **Mélangé DJL Inc Mf=2,56**  
Type de pierre : **St-Dominique**  
Type de ciment : **Type GU et GUb**  
Matériau fin #1 : **Non**  
Matériau fin #2 : **Non**

Exposant de la fonction  
de distribution : **0.45**

Tamis (mm)	Tamisats des classes granulaires (%)				Matériaux fins (<160 µm)			Combiné total	Visé (%)	Écart (%)	Écart au carré
	GNS-14	GNS/20	iRBG31.5mm	Sb DJL	Ciment	Cendre	FS				
40	100	100.0	100.0	100.0				100	100	0	0
28	100	100.0	86.8	100.0				93	95	-2	5
20	100	96.3	74.4	100.0				86	82	4	17
14	82.3	58.7	62.7	100.0				79	69	10	94
10	40.7	47.9	50.9	100.0				73	60	13	165
5	2.9	8.6	36.2	96.7				63	44	19	366
2.5	1.0	1.4	25.9	84.2				52	32	20	383
1.25	0.8	0.8	17.7	70.7				41	23	18	311
0.630	0.0	0.1	7.5	54.9				28	17	11	124
0.315			2.0	30.4				15	13	2	4
0.160			0.4	7.5				4	9	-6	33
0.087			0.2	0.0							
0.054											
0.028											
0.022											
0.010											
0.005											
0.002											
Densité	2.72	2.74	2.31	2.65	3.14	2.40	2.20				
	0.0	0.0	56.0	44.0	0.0	0.0	0.0	100			1502
	0.0	0.0	129.1	116.6	0.0	0.0	0.0				
Granulats (%) : <b>100</b>					Fines (%) : <b>0</b>						
	0	0	56	44	0	0	0				

Proportion de criblure dans  
le granulat fin (<= 5 mm) :

**100** (%)

Proportion de cendres  
dans les fines :

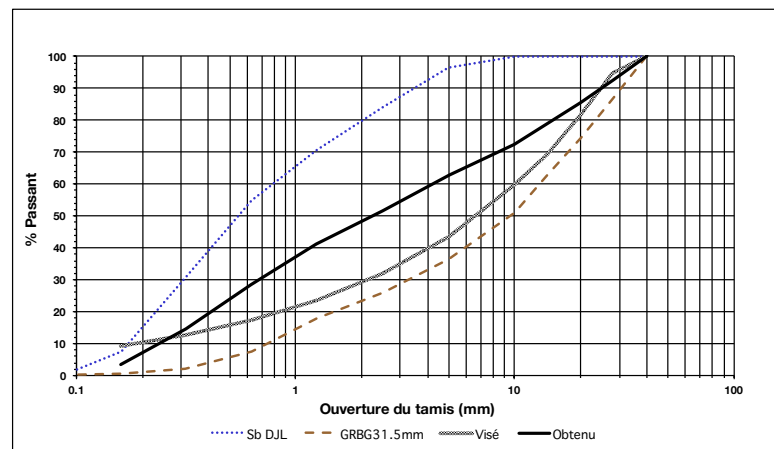
**0** (%)

Proportion de fumée de silice  
dans les fines :

**0** (%)

Proportions massiques corrigées en fonction des densités (%)							
GNS-14	GNS/20	iRBG31.5mm	Sb DJL	0.0	Ciment	Cendre	FS
0.0	0.0	52.5	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0

**100** Pourcentage de GR par rapport au partie grosse totale



Optimisation granulaire 100% GR 31.5

Granulat 28 mm (10% GR)

Optimisation granulaire complete

Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton  
Par Richard Gagné - CRIB Sherbrooke  
et Pierre Lemieux - Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke

Diametre nominal maximal du granulat : 28 mm  
Type de sable : Mélangé DJL Inc Mf=2,38  
Type de pierre : St-Dominique  
Type de ciment : Type GU et GUb  
Matériau fin #1 : Non  
Matériau fin #2 : Non  
Exposant de la fonction de distribution : 0.45

Tamis (mm)	Tamisats des classes granulaires (%)				Matériaux fins (<160 µm)			Combiné total	Visé (%)	Écart (%)	Écart au carré
	GN5-14	GN5/20	GRBG28mm	Sb DJL	Ciment	Cendre	FS				
40	100	100.0	100.0	100.0				100	100	0	0
28	100	100.0	93.6	100.0				100	100	0	0
20	100	96.3	61.6	100.0				96	86	10	97
14	82.3	58.7	40.6	100.0				76	73	3	10
10	40.7	47.9	27.0	100.0				69	63	6	41
5	2.9	8.6	14.4	96.1				47	46	1	2
2.5	1.0	1.4	10.0	86.5				39	34	6	32
1.25	0.8	0.8	7.2	74.8				34	25	9	82
0.630	0.0	0.1	5.1	58.1				26	18	8	61
0.315			3.3	34.4				15	13	2	4
0.160			1.9	11.7				5	10	-5	20
0.087			1.0	4.5							
0.054			0.0	4.3							
0.028											
0.022											
0.010											
0.005											
0.002											
Densité	2.72	2.74	2.37	2.64	3.14	2.40	2.20				
2.5	47.1	6.4	44.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100			349
6.7	129.2	15.1	116.2	0.0	0.0	0.0	0.0				

Granulats (%) : 100				Fines (%) : 0			
2	47	6	44	0	0	0	0

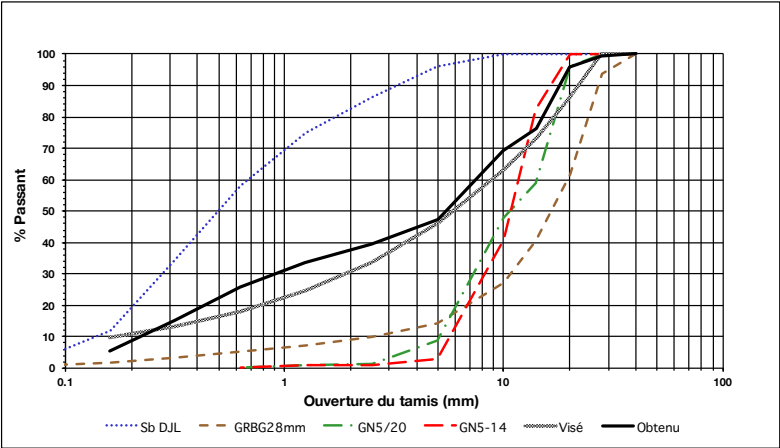
Proportion de criblure dans le granulat fin (<= 5 mm) : 0 (%)

Proportion de cendres dans les fines : 0 (%)

Proportion de fumée de silice dans les fines : 0 (%)

Proportions massiques corrigées en fonction des densités (%)							
GN5-14	GN5/20	GRBG28mm	Sb DJL	0.0	Ciment	Cendre	FS
2.5	48.3	5.7	43.5	0.0	0.0	0.0	0.0

10.0 % GR par rapport au totalite de granulat gros



Optimisation granulaire 10% GR 28 mm

## Granulat 28 mm (20% GR)

### Optimisation granulaire complete

**Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton**  
Par Richard Gagné - CRIB Sherbrooke  
et Pierre Lemieux - Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke

Diamètre nominal maximal du granulat : **28** mm  
Type de sable : **Mélangé DJL Inc Mf=2,38**  
Type de pierre : **St-Dominique**  
Type de ciment : **Type GU et GUb**  
Matériau fin #1 : **Non**  
Matériau fin #2 : **Non**

Exposant de la fonction de distribution : **0.45**

Tamis (mm)	Tamisats des classes granulaires (%)				Matériaux fins (<160 µm)			Combiné total	Visé (%)	Écart (%)	Écart au carré
	GN5-14	GN5/20	GRBG28mm	Sb DJL	Ciment	Cendre	FS				
40	100	100.0	100.0	100.0				100	100	0	0
28	100	100.0	93.6	100.0				99	100	-1	1
20	100	96.3	61.6	100.0				94	86	8	59
14	82.3	58.7	40.6	100.0				75	73	2	4
10	40.7	47.9	27.0	100.0				68	63	5	26
5	2.9	8.6	14.4	96.1				48	46	2	3
2.5	1.0	1.4	10.0	86.5				40	34	6	38
1.25	0.8	0.8	7.2	74.8				34	25	9	89
0.630	0.0	0.1	5.1	58.1				26	18	8	66
0.315			3.3	34.4				16	13	2	5
0.160			1.9	11.7				5	10	-4	19
0.087			1.0	4.5							
0.054			0.0	4.3							
0.028											
0.022											
0.010											
0.005											
0.002											
Densité	2.72	2.74	2.37	2.64	3.14	2.40	2.20				
	2.2	41.3	12.5	44.0	0.0	0.0	0.0	100			311
	5.9	113.1	29.7	116.2	0.0	0.0	0.0				

Granulats (%) : <b>100</b>					Fines (%) : <b>0</b>		
2	41	13	44	0	0	0	0

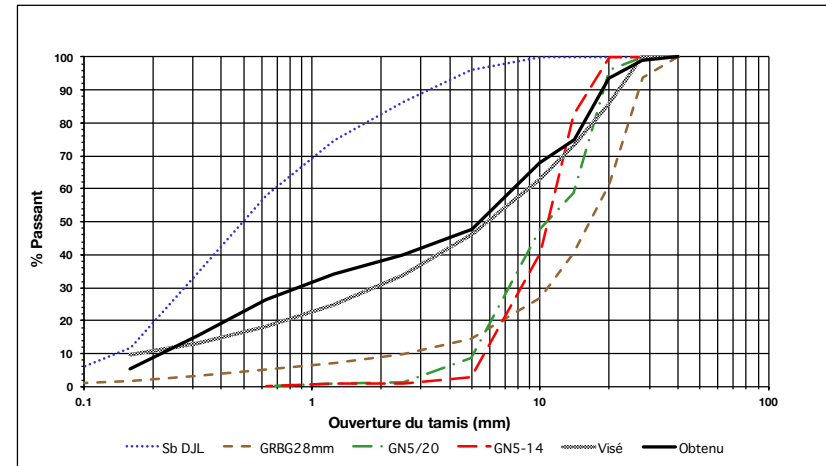
Proportion de criblure dans le granulat fin (<= 5 mm) : **0 (%)**

Proportion de cendres dans les fines : **0 (%)**

Proportion de fumée de silice dans les fines : **0 (%)**

Proportions massiques corrigées en fonction des densités (%)							
GN5-14	GN5/20	GRBG28mm	Sb DJL	0.0	Ciment	Cendre	FS
2.2	42.7	11.2	43.8	0.0	0.0	0.0	0.0

**20.0** % GR par rapport au totalite de granulat gros



Optimisation granulaire 20% GR 28 mm

Granulat 28 mm (35% GR)

Optimisation granulaire complete

Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton  
Par Richard Gagné - CRIB Sherbrooke  
et Pierre Lemieux - Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke

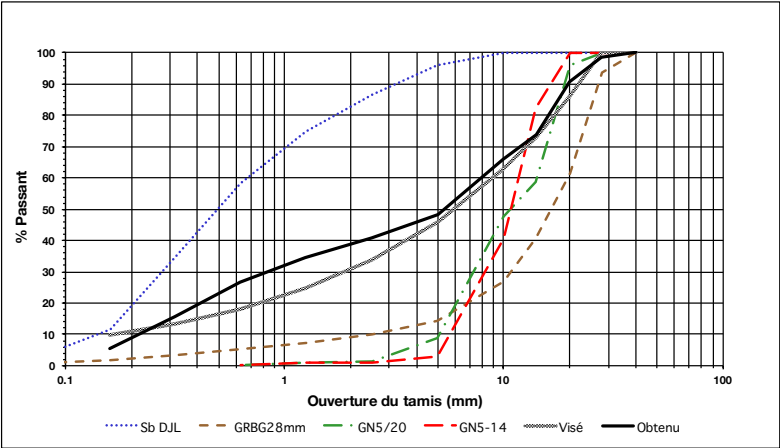
Diametre nominal maximal du granulat : 28 mm  
Type de sable : Mélangé DJL Inc Mf=2,38  
Type de pierre : St-Dominique  
Type de ciment : Type GU et GUb  
Matériau fin #1 : Non  
Matériau fin #2 : Non  
Exposant de la fonction de distribution : 0.45

Tamis (mm)	Tamisats des classes granulaires (%)				Matériaux fins (<160 µm)			Combiné total	Visé (%)	Écart (%)	Écart au carré
	GN5-14	GN5/20	RBG28mm	Sb DJL	Ciment	Cendre	FS				
40	100	100.0	100.0	100.0				100	100	0	0
28	100	100.0	93.6	100.0				99	100	-1	2
20	100	96.3	61.6	100.0				91	86	5	22
14	82.3	58.7	40.6	100.0				74	73	1	0
10	40.7	47.9	27.0	100.0				66	63	3	10
5	2.9	8.6	14.4	96.1				48	46	2	4
2.5	1.0	1.4	10.0	86.5				41	34	7	48
1.25	0.8	0.8	7.2	74.8				35	25	10	100
0.630	0.0	0.1	5.1	58.1				27	18	9	74
0.315			3.3	34.4				16	13	3	7
0.160			1.9	11.7				6	10	-4	18
0.087			1.0	4.5							
0.054			0	4.3							
0.028											
0.022											
0.010											
0.005											
0.002											
Densité	2.72	2.74	2.37	2.64	3.14	2.40	2.20				
	3.5	31.1	21.4	44.0	0.0	0.0	0.0	100			285
	9.4	85.2	50.9	116.2	0.0	0.0	0.0				
Granulats (%) :					Fines (%) :						
3					0						
31					0						
21					0						
44					0						
0					0						

Proportion de criblure dans le granulat fin (<= 5 mm) : 0 (%)  
Proportion de cendres dans les fines : 0 (%)  
Proportion de fumée de silice dans les fines : 0 (%)

Proportions massiques corrigées en fonction des densités (%)							
GN5-14	GN5/20	RBG28mm	Sb DJL	0.0	Ciment	Cendre	FS
3.6	32.6	19.4	44.4	0.0	0.0	0.0	0.0

35.0 % GR par rapport au totalite de granulat gros



Optimisation granulaire 35% GR 28 mm

## Granulat 28 mm (50% GR)

### Optimisation granulaire complete

**Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton**  
Par Richard Gagné - CRIB Sherbrooke  
et Pierre Lemieux - Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke

Diametre nominal maximal du granulat : 28 mm  
Type de sable : **Mélangé DJL Inc Mf=2,38**  
Type de pierre : **St-Dominique**  
Type de ciment : **Type GU et GUb**  
Matériau fin #1 : **Non**  
Matériau fin #2 : **Non**

Exposant de la fonction de distribution : **0.45**

Tamis (mm)	Tamisats des classes granulaires (%)				Matériaux fins (<160 µm)			Combiné total	Visé (%)	Écart (%)	Écart au carré
	GN5-14	GN5/20	GRBG28mm	Sb DJL	Ciment	Cendre	FS				
40	100	100.0	100.0	100.0				100	100	0	0
28	100	100.0	93.6	100.0				98	100	-2	4
20	100	96.3	61.6	100.0				88	86	2	3
14	82.3	58.7	40.6	100.0				73	73	0	0
10	40.7	47.9	27.0	100.0				64	63	1	1
5	2.9	8.6	14.4	96.1				48	46	2	5
2.5	1.0	1.4	10.0	86.5				41	34	8	59
1.25	0.8	0.8	7.2	74.8				35	25	11	112
0.630	0.0	0.1	5.1	58.1				27	18	9	81
0.315			3.3	34.4				16	13	3	8
0.160			1.9	11.7				6	10	-4	17
0.087			1.0	4.5							
0.054			0	4.3							
0.028											
0.022											
0.010											
0.005											
0.002											
Densité	2.72	2.74	2.37	2.64	3.14	2.40	2.20				
	7.8	18.2	30.0	44.0	0.0	0.0	0.0	100			290
	21.2	49.8	71.2	116.2	0.0	0.0	0.0				

Granulats (%) :	100	Fines (%) :	0
8	18	30	44
		0	0

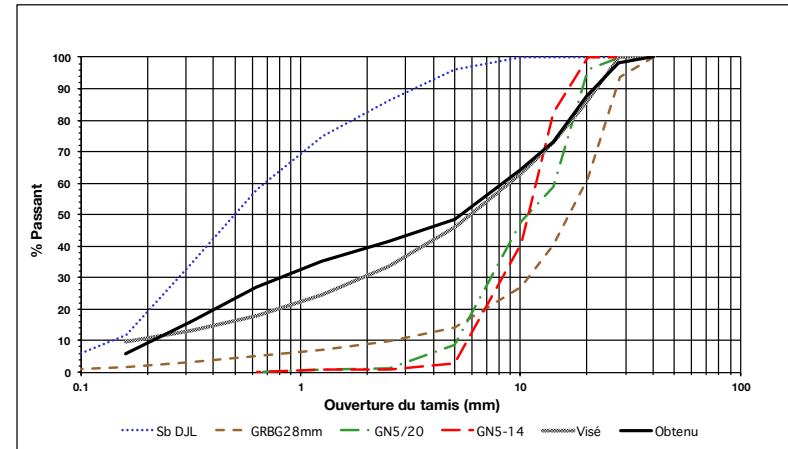
Proportion de criblure dans le granulat fin (<= 5 mm) : 0 (%)

Proportion de cendres dans les fines : 0 (%)

Proportion de fumée de silice dans les fines : 0 (%)

Proportions massiques corrigées en fonction des densités (%)						
GN5-14	GN5/20	GRBG28mm	Sb DJL	0.0	Ciment	Cendre FS
8.2	19.3	27.5	45.0	0.0	0.0	0.0

50.0 % GR par rapport au totalite de granulat gros



Optimisation granulaire 50% GR 28 mm

Granulat 28 mm (75% GR)

Optimisation granulaire complete

Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton  
Par Richard Gagné - CRIB Sherbrooke  
et Pierre Lemieux - Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke

Diametre nominal maximal du granulat : 28 mm  
Type de sable : Mélangé DJL Inc Mf=2,38  
Type de pierre : St-Dominique  
Type de ciment : Type GU et GUB  
Matériau fin #1 : Non  
Matériau fin #2 : Non  
Exposant de la fonction de distribution : 0.45

Tamis (mm)	Tamisats des classes granulaires (%)				Matériaux fins (<160 µm)			Combiné total	Visé (%)	Écart (%)	Écart au carré
	GN5-14	GN5/20	GRBG28mm	Sb DJL	Ciment	Cendre	FS				
40	100	100.0	100.0	100.0				100	100	0	0
28	100	100.0	93.6	100.0				97	100	-3	8
20	100	96.3	61.6	100.0				83	86	-3	7
14	82.3	58.7	40.6	100.0				72	73	-1	2
10	40.7	47.9	27.0	100.0				61	63	-2	4
5	2.9	8.6	14.4	96.1				49	46	3	8
2.5	1.0	1.4	10.0	86.5				43	34	9	77
1.25	0.8	0.8	7.2	74.8				36	25	11	131
0.630	0.0	0.1	5.1	58.1				28	18	10	93
0.315			3.3	34.4				17	13	3	11
0.160			1.9	11.7				6	10	-4	15
0.087			1.0	4.5							
0.054			0.0	4.3							
0.028											
0.022											
0.010											
0.005											
0.002											
Densité	2.72	2.74	2.37	2.64	3.14	2.40	2.20				
	12.0	0.6	43.4	44.0	0.0	0.0	0.0	100			356
	32.6	1.7	102.9	116.2	0.0	0.0	0.0				
Granulats (%) : 100					Fines (%) : 0						
	12	1	43	44	0	0	0				

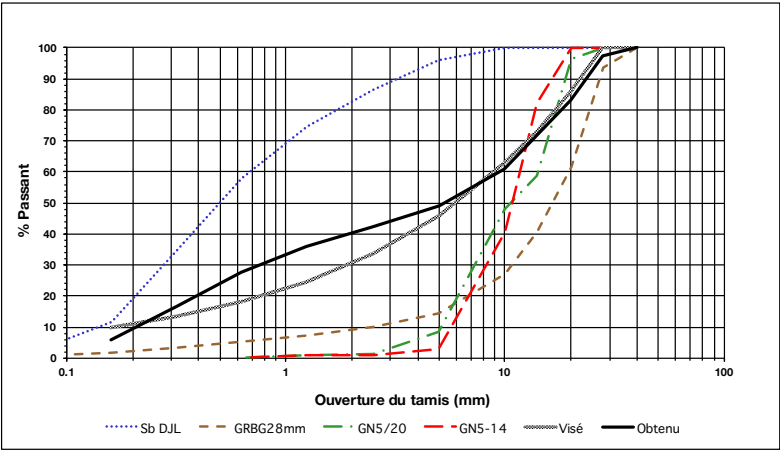
Proportion de criblure dans le granulat fin (<= 5 mm) : 0 (%)

Proportion de cendres dans les fines : 0 (%)

Proportion de fumée de silice dans les fines : 0 (%)

Proportions massiques corrigées en fonction des densités (%)							
GN5-14	GN5/20	GRBG28mm	Sb DJL	0.0	Ciment	Cendre	FS
12.9	0.7	40.6	45.8	0.0	0.0	0.0	0.0

75.0 % GR par rapport au totalite de granulat gros



Optimisation granulaire 75% GR 28 mm



## Granulat 28 mm (100% GR)

### Optimisation granulaire complete

**Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton**  
Par Richard Gagné - CRIB Sherbrooke  
et Pierre Lemieux - Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke

Diamètre nominal maximal du granulat : 28 mm  
Type de sable : Mélangé DJL Inc Mf=2,38  
Type de pierre : St-Dominique  
Type de ciment : Type GU et GUb  
Matériau fin #1 : Non  
Matériau fin #2 : Non  
Exposant de la fonction de distribution : 0.45

Tamis (mm)	Tamisats des classes granulaires (%)				Matériaux fins (<160 µm)			Combiné total	Visé (%)	Écart (%)	Écart au carré
	GN5-14	GN5/20	GRBG28mm	Sb DJL	Ciment	Cendre	FS				
40	100	100.0	100.0	100.0				100	100	0	0
28	100	100.0	93.6	100.0				96	100	-4	13
20	100	96.3	61.6	100.0				79	86	-7	55
14	82.3	58.7	40.6	100.0				67	73	-6	41
10	40.7	47.9	27.0	100.0				59	63	-4	14
5	2.9	8.6	14.4	96.1				50	46	4	18
2.5	1.0	1.4	10.0	86.5				44	34	10	98
1.25	0.8	0.8	7.2	74.8				37	25	12	150
0.630	0.0	0.1	5.1	58.1				28	18	10	106
0.315			3.3	34.4				17	13	4	14
0.160			1.9	11.7				6	10	-4	13
0.087			1.0	4.5							
0.054			0.0	4.3							
0.028											
0.022											
0.010											
0.005											
0.002											
Densité	2.72	2.74	2.37	2.64	3.14	2.40	2.20				
	0.0	0.0	56.0	44.0	0.0	0.0	0.0	100			523

Granulats (%) : 100				Fines (%) : 0			
0	0	56	44	0	0	0	0

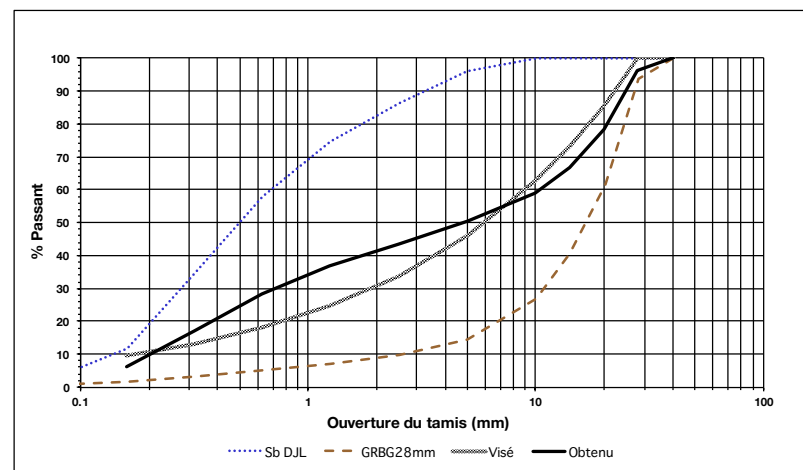
Proportion de criblure dans le granulat fin (<= 5 mm) : 0 (%)

Proportion de cendres dans les fines : 0 (%)

Proportion de fumée de silice dans les fines : 0 (%)

Proportions massiques corrigées en fonction des densités (%)							
GN5-14	GN5/20	GRBG28mm	Sb DJL	0.0	Ciment	Cendre	FS
0.0	0.0	53.3	46.7	0.0	0.0	0.0	0.0

100.0 % GR par rapport au totalite de granulat gros



Optimisation granulaire 100% GR 28 mm

# ANNEXE V - CALCULS DES GÂCHÉES DE BÉTON

## Béton Témoin

Quantités par m3 de Béton

	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m3)		360
Ciment GU (kg/m3)		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m3)		72
Ciment GU / Liant		0.8
Ciment GUb-S/SF / Liant		0.2
Eau (kg/m3)		162
E / L		0.45
Gros granulats (kg/m3)	56.8	1010
GG 10-20 mm (kg/m3)	51.2	910.4
GG 5-14 mm (kg/m3)	5.6	99.6
GG recyclés 28mm (kg/m3)	0.0	0.0
Sable (kg/m3)	43.2	768
Sable / (gros granulats + sable)		0.432
Masse volumique (kg/m3)		2300

Quantités pour une gâchée de 230 Kg

	(Kg)
Ciment GU	30.9
Ciment GUb-S/SF	7.7
Eau (sans correction)	17.4
Eau (corrigée avec SP et AEA)	17.2
GG 10 mm	48.9
GG 20 mm	48.9
GG 5-14	10.7
G Recyclés	0.0
Sable	82.5
Total	247

247 Kg de Béton  
0.11 m3 de béton

Correction de l'eau pour quantités d'additifs

	MI/100 kg ciment	MI	Densité	% de l'eau	Kg
SP	600.0	231.95	1.040	80	0.193
AEA	120.0	46.39	1.007	95	0.044
TOTAL					0.237

## Granulat 31,5 mm (10% GR)

Quantités par m3 de Béton

	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m3)		360
Ciment GU (kg/m3)		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m3)		72
Ciment GU / Liant		0.8
Ciment GUb-S/SF / Liant		0.2
Eau (kg/m3)		162
E / L		0.45
Gros granulats (kg/m3)	56.3	1010
GG 10-20 mm (kg/m3)	48.0	861.1
GG 5-14 mm (kg/m3)	2.5	44.8
GG recyclés 28mm (kg/m3)	5.8	104.0
Sable (kg/m3)	43.7	784
Sable / (gros granulats + sable)		0.437
Masse volumique (kg/m3)		2316

Quantités pour une gâchée de 230 Kg

	(Kg)
Ciment GU	30.7
Ciment GUb-S/SF	7.7
Eau (sans correction)	17.3
Eau (corrigée avec SP et AEA)	17.0
GG 10 mm	45.9
GG 20 mm	45.9
GG 5-14	4.8
G Recyclés	11.1
Sable	83.6
Total	247

247 Kg de Béton  
0.11 m3 de béton

Correction de l'eau pour quantités d'additifs

	MI/100 kg ciment	MI	Densité	% de l'eau	Kg
SP	630.0	241.88	1.040	80	0.201
AEA	139.0	53.37	1.007	95	0.051
TOTAL					0.252

Pourcentage de fins et gros dans le granulat recyclé

	Fins	Gros
(%)	36.2	63.8
Kg	4.0	7.1

## Granulat 31,5 mm (20% GR)

Quantités par m3 de Béton

	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m3)		360
Ciment GU (kg/m3)		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m3)		72
Ciment GU / Liant		0.8
Ciment GUb-S/SF / Liant		0.2
Eau (kg/m3)		162
E / L		0.45
Gros granulats (kg/m3)	55.9	1010
GG 10-20 mm (kg/m3)	40.2	726.3
GG 5-14 mm (kg/m3)	4.5	81.3
GG recyclés 28mm (kg/m3)	11.2	202.4
Sable (kg/m3)	44.1	797
Sable / (gros granulats + sable)		0.441
Masse volumique (kg/m3)		2329

Quantités pour une gâchée de 230 Kg

	(Kg)
Ciment GU	30.5
Ciment GUb-S/SF	7.6
Eau (sans correction)	17.2
Eau (corrigée avec SP et AEA)	16.9
GG 10 mm	38.5
GG 20 mm	38.5
GG 5-14	8.6
G Recyclés	21.5
Sable	84.5
Total	247

247 Kg de Béton  
0.11 m3 de béton

Correction de l'eau pour quantités d'additifs

	MI/100 kg ciment	MI	Densité	% de l'eau	Kg
SP	645.0	246.28	1.040	80	0.205
AEA	143.0	54.60	1.007	95	0.052
TOTAL					0.257

Pourcentage de fins et gros dans le granulat recyclé

	Fins	Gros
(%)	36.2	63.8
Kg	7.8	13.7

## Granulat 31,5 mm (35% GR)

Quantités par m3 de Béton

	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m3)		360
Ciment GU (kg/m3)		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m3)		72
Ciment GU / Liant		0.8
Ciment GUb-S/SF / Liant		0.2
Eau (kg/m3)		162
E / L		0.45
Gros granulats (kg/m3)	55.2	1010
GG 10-20 mm (kg/m3)	32.3	591.0
GG 5-14 mm (kg/m3)	3.6	65.9
GG recyclés 28mm (kg/m3)	19.3	353.1
Sable (kg/m3)	44.8	820
Sable / (gros granulats + sable)		0.448
Masse volumique (kg/m3)		2352

Quantités pour une gâchée de 230 Kg

	(Kg)
Ciment GU	30.2
Ciment GUb-S/SF	7.6
Eau (sans correction)	17.0
Eau (corrigée avec SP et AEA)	16.7
GG 10 mm	31.0
GG 20 mm	31.0
GG 5-14	6.9
G Recyclés	37.1
Sable	86.1
Total	247

247 Kg de Béton  
0.11 m3 de béton

Correction de l'eau pour quantités d'additifs

	MI/100 kg ciment	MI	Densité	% de l'eau	Kg
SP	690.0	260.89	1.040	80	0.217
AEA	155.0	58.61	1.007	95	0.056
TOTAL					0.273

Pourcentage de fins et gros dans le granulat recyclé

	Fins	Gros
(%)	36.2	63.8
Kg	13.4	23.7

Granulat 31,5 mm (50% GR)

Quantités par m3 de Béton		
	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m3)		360
Ciment GU (kg/m3)		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m3)		72
Ciment GU / Liant		0.8
Ciment GUb-S/SF / Liant		0.2
Eau (kg/m3)		162
E / L		0.45
Gros granulats (kg/m3)	54.6	1010
GG 10-20 mm (kg/m3)	26.1	482.8
GG 5-14 mm (kg/m3)	1.4	25.9
GG recyclés 28mm (kg/m3)	27.1	501.3
Sable (kg/m3)	45.4	840
Sable / (gros granulats + sable)		0.454
Masse volumique (kg/m3)		2372

Quantités pour une gâchée de 230 Kg

	(Kg)
Ciment GU	30.0
Ciment GUb-S/SF	7.5
Eau (sans correction)	16.9
Eau (corrigée avec SP et AEA)	16.6
GG 10 mm	25.1
GG 20 mm	25.1
GG 5-14	2.7
G Recyclés	52.2
Sable	87.5
Total	247

247 Kg de Béton  
0.10 m3 de béton

Correction de l'eau pour quantités d'additifs

	MI/100 kg ciment	MI	Densité	% de l'eau	Kg
SP	720.0	269.93	1.040	80	0.225
AEA	170.0	63.73	1.007	95	0.061
TOTAL					0.286

Pourcentage de fins et gros dans le granulat recyclé

	Fins	Gros
(%)	36.2	63.8
Kg	18.9	33.3

Granulat 31,5 mm (75% GR)

Quantités par m3 de Béton		
	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m3)		360
Ciment GU (kg/m3)		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m3)		72
Ciment GU / Liant		0.8
Ciment GUb-S/SF / Liant		0.2
Eau (kg/m3)		162
E / L		0.45
Gros granulats (kg/m3)	53.6	1010
GG 10-20 mm (kg/m3)	12.8	241.3
GG 5-14 mm (kg/m3)	0.7	12.6
GG recyclés 28mm (kg/m3)	40.1	756.0
Sable (kg/m3)	46.4	875
Sable / (gros granulats + sable)		0.464
Masse volumique (kg/m3)		2407

Quantités pour une gâchée de 230 Kg

	(Kg)
Ciment GU	29.6
Ciment GUb-S/SF	7.4
Eau (sans correction)	16.6
Eau (corrigée avec SP et AEA)	16.2
GG 10 mm	12.4
GG 20 mm	12.4
GG 5-14	1.3
G Recyclés	77.6
Sable	89.8
Total	247

247 Kg de Béton  
0.10 m3 de béton

Correction de l'eau pour quantités d'additifs

	MI/100 kg ciment	MI	Densité	% de l'eau	Kg
SP	1100.0	406.40	1.040	80	0.338
AEA	210.0	77.58	1.007	95	0.074
TOTAL					0.412

Pourcentage de fins et gros dans le granulat recyclé

	Fins	Gros
(%)	36.2	63.8
Kg	28.1	49.5

## Granulat 31,5 mm (100% GR)

Quantités par m3 de Béton

	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m3)		360
Ciment GU (kg/m3)		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m3)		72
Ciment GU / Liant		0.8
Ciment GUb-S/SF / Liant		0.2
Eau (kg/m3)		162
E / L		0.45
Gros granulats (kg/m3)	52.6	1010
GG 10-20 mm (kg/m3)	0.0	0.0
GG 5-14 mm (kg/m3)	0.0	0.0
GG recyclés 28mm (kg/m3)	52.6	1010.0
Sable (kg/m3)	47.4	910
Sable / (gros granulats + sable)		0.474
Masse volumique (kg/m3)		2442

Quantités pour une gâchée de 230 Kg

	(Kg)
Ciment GU	29.1
Ciment GUb-S/SF	7.3
Eau (sans correction)	16.4
Eau (corrigée avec SP et AEA)	15.8
GG 10 mm	0.0
GG 20 mm	0.0
GG 5-14	0.0
G Recyclés	102.2
Sable	92.1
Total	247

Correction de l'eau pour quantités d'additifs

	MI/100 kg ciment	MI	Densité	% de l'eau	Kg
SP	1700.0	618.98	1.040	80	0.515
AEA	320.0	116.51	1.007	95	0.111
TOTAL					0.626

Pourcentage de fins et gros dans le granulat recyclé

	Fins	Gros
(%)	36.2	63.8
Kg	37.0	65.2

247 Kg de Béton

0.10 m3 de béton

## Béton Témoin

Quantités par m3 de Béton

	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m3)		360
Ciment GU (kg/m3)		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m3)		72
Ciment GU / Liant		0.8
Ciment GUb-S/SF / Liant		0.2
Eau (kg/m3)		162
E / L		0.45
Gros granulats (kg/m3)	56.8	1010
GG 10-20 mm (kg/m3)	51.2	910.4
GG 5-14 mm (kg/m3)	5.6	99.6
GG recyclés 28mm (kg/m3)	0.0	0.0
Sable (kg/m3)	43.2	768
Sable / (gros granulats + sable)		0.432
Masse volumique (kg/m3)		2300

Quantités pour une gâchée de 230 Kg

	(Kg)
Ciment GU	28.8
Ciment GUb-S/SF	7.2
Eau (sans correction)	16.2
Eau (corrigée avec SP et AEA)	16.0
GG 10 mm	45.5
GG 20 mm	45.5
GG 5-14	10.0
G Recyclés	0.0
Sable	76.8
Total	230

Correction de l'eau pour quantités d'additifs

	MI/100 kg ciment	MI	Densité	% de l'eau	Kg
SP	600.0	216.08	1.040	80	0.180
AEA	90.0	32.41	1.007	95	0.031
TOTAL					0.211

Pourcentage de fins et gros dans le granulat recyclé

	Fins	Gros
(%)	14.4	85.6
Kg	0.0	0.0

230.1 Kg de Béton

0.10 m3 de béton

Granulat 28 mm (10% GR)

Quantités par m3 de Béton		
	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m3)		360
Ciment GU (kg/m3)		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m3)		72
Ciment GU / Liant		0.8
Ciment GUb-S/SF / Liant		0.2
Eau (kg/m3)		162
E / L		0.45
Gros granulats (kg/m3)	56.5	1010
GG 10-20 mm (kg/m3)	48.3	863.4
GG 5-14 mm (kg/m3)	2.5	44.7
GG recyclés 28mm (kg/m3)	5.7	101.9
Sable (kg/m3)	43.5	778
Sable / (gros granulats + sable)		0.435
Masse volumique (kg/m3)		2310

Quantités pour une gâchée de 230 Kg

	(Kg)
Ciment GU	28.7
Ciment GUb-S/SF	7.2
Eau (sans correction)	16.1
Eau (corrigée avec SP et AEA)	15.9
GG 10 mm	43.0
GG 20 mm	43.0
GG 5-14	4.5
G Recyclés	10.2
Sable	77.5
Total	230

230.1 Kg de Béton  
0.10 m3 de béton

Correction de l'eau pour quantités d'additifs

	MI/100 kg ciment	MI	Densité	% de l'eau	Kg
SP	650.0	233.13	1.040	80	0.194
AEA	100.0	35.87	1.007	95	0.034
TOTAL					0.228

Pourcentage de fins et gros dans le granulat recyclé

	Fins	Gros
(%)	14.4	85.6
Kg	1.5	8.7

Granulat 28 mm (20% GR)

Quantités par m3 de Béton		
	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m3)		360
Ciment GU (kg/m3)		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m3)		72
Ciment GU / Liant		0.8
Ciment GUb-S/SF / Liant		0.2
Eau (kg/m3)		162
E / L		0.45
Gros granulats (kg/m3)	56.2	1010
GG 10-20 mm (kg/m3)	42.7	767.4
GG 5-14 mm (kg/m3)	2.3	41.3
GG recyclés 28mm (kg/m3)	11.2	201.3
Sable (kg/m3)	43.8	787
Sable / (gros granulats + sable)		0.438
Masse volumique (kg/m3)		2319

Quantités pour une gâchée de 230 Kg

	(Kg)
Ciment GU	28.6
Ciment GUb-S/SF	7.1
Eau (sans correction)	16.1
Eau (corrigée avec SP et AEA)	15.8
GG 10 mm	38.1
GG 20 mm	38.1
GG 5-14	4.1
G Recyclés	20.0
Sable	78.1
Total	230

230.1 Kg de Béton  
0.10 m3 de béton

Correction de l'eau pour quantités d'additifs

	MI/100 kg ciment	MI	Densité	% de l'eau	Kg
SP	730.0	260.74	1.040	80	0.217
AEA	145.0	51.79	1.007	95	0.050
TOTAL					0.266

Pourcentage de fins et gros dans le granulat recyclé

	Fins	Gros
(%)	14.4	85.6
Kg	2.9	17.1

## Granulat 28 mm (35% GR)

Quantités par m3 de Béton

	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m3)		360
Ciment GU (kg/m3)		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m3)		72
Ciment GU / Liant		0.8
Ciment GUb-S/SF / Liant		0.2
Eau (kg/m3)		162
E / L		0.45
Gros granulats (kg/m3)	55.6	1010
GG 10-20 mm (kg/m3)	32.6	592.2
GG 5-14 mm (kg/m3)	3.6	65.4
GG recyclés 28mm (kg/m3)	19.4	352.4
Sable (kg/m3)	44.4	807
Sable / (gros granulats + sable)		0.444
Masse volumique (kg/m3)		2339

Quantités pour une gâchée de 230 Kg

	(Kg)
Ciment GU	28.3
Ciment GUb-S/SF	7.1
Eau (sans correction)	15.9
Eau (corrigée avec SP et AEA)	15.7
GG 10 mm	29.1
GG 20 mm	29.1
GG 5-14	6.4
G Recyclés	34.7
Sable	79.4
Total	230

230.1 Kg de Béton

0.10 m3 de béton

Correction de l'eau pour quantités d'additifs

	MI/100 kg ciment	MI	Densité	% de l'eau	Kg
SP	690.0	244.41	1.040	80	0.203
AEA	160.0	56.68	1.007	95	0.054
TOTAL					0.258

Pourcentage de fins et gros dans le granulat recyclé

	Fins	Gros
(%)	14.4	85.6
Kg	5.0	29.7

## Granulat 28 mm (50% GR)

Quantités par m3 de Béton

	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m3)		360
Ciment GU (kg/m3)		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m3)		72
Ciment GU / Liant		0.8
Ciment GUb-S/SF / Liant		0.2
Eau (kg/m3)		162
E / L		0.45
Gros granulats (kg/m3)	55.0	1010
GG 10-20 mm (kg/m3)	19.3	354.4
GG 5-14 mm (kg/m3)	8.2	150.6
GG recyclés 28mm (kg/m3)	27.5	505.0
Sable (kg/m3)	45.0	826
Sable / (gros granulats + sable)		0.450
Masse volumique (kg/m3)		2358

Quantités pour une gâchée de 230 Kg

	(Kg)
Ciment GU	28.1
Ciment GUb-S/SF	7.0
Eau (sans correction)	15.8
Eau (corrigée avec SP et AEA)	15.5
GG 10 mm	17.3
GG 20 mm	17.3
GG 5-14	14.7
G Recyclés	49.3
Sable	80.6
Total	230

230.1 Kg de Béton

0.10 m3 de béton

Correction de l'eau pour quantités d'additifs

	MI/100 kg ciment	MI	Densité	% de l'eau	Kg
SP	771.4	270.95	1.040	80	0.225
AEA	182.4	64.07	1.007	95	0.061
TOTAL					0.287

Pourcentage de fins et gros dans le granulat recyclé

	Fins	Gros
(%)	14.4	85.6
Kg	7.1	42.2

Granulat 28 mm (75% GR)

Quantités par m3 de Béton

	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m3)		360
Ciment GU (kg/m3)		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m3)		72
Ciment GU / Liant		0.8
Ciment GUb-S/SF / Liant		0.2
Eau (kg/m3)		162
E / L		0.45
Gros granulats (kg/m3)	54.1	1010
GG 10-20 mm (kg/m3)	0.7	13.1
GG 5-14 mm (kg/m3)	12.8	239.0
GG recyclés 28mm (kg/m3)	40.6	758.0
Sable (kg/m3)	45.9	857
Sable / (gros granulats + sable)		0.459
Masse volumique (kg/m3)		2389

Quantités pour une gâchée de 230 Kg

	(Kg)
Ciment GU	27.7
Ciment GUb-S/SF	6.9
Eau (sans correction)	15.6
Eau (corrigée avec SP et AEA)	15.3
GG 10 mm	0.6
GG 20 mm	0.6
GG 5-14	23.0
G Recyclés	73.0
Sable	82.5
Total	230

230.1 Kg de Béton  
0.10 m3 de béton

Correction de l'eau pour quantités d'additifs

	MI/100 kg ciment	MI	Densité	% de l'eau	Kg
SP	873.0	302.71	1.040	80	0.252
AEA	191.0	66.23	1.007	95	0.063
TOTAL					0.315

Pourcentage de fins et gros dans le granulat recyclé

	Fins	Gros
(%)	14.4	85.6
Kg	10.5	62.5

Granulat 28 mm (100% GR)

Quantités par m3 de Béton

	% corrigé	Quantités
Teneur en liant (kg/m3)		360
Ciment GU (kg/m3)		288
Ciment GUb-S/SF (kg/m3)		72
Ciment GU / Liant		0.8
Ciment GUb-S/SF / Liant		0.2
Eau (kg/m3)		162
E / L		0.45
Gros granulats (kg/m3)	53.3	1010
GG 10-20 mm (kg/m3)	0.0	0.0
GG 5-14 mm (kg/m3)	0.0	0.0
GG recyclés 28mm (kg/m3)	53.3	1010.0
Sable (kg/m3)	46.7	885
Sable / (gros granulats + sable)		0.467
Masse volumique (kg/m3)		2417

Quantités pour une gâchée de 230 Kg

	(Kg)
Ciment GU	27.4
Ciment GUb-S/SF	6.9
Eau (sans correction)	15.4
Eau (corrigée avec SP et AEA)	15.1
GG 10 mm	0.0
GG 20 mm	0.0
GG 5-14	0.0
G Recyclés	96.2
Sable	84.2
Total	230

230.1 Kg de Béton  
0.10 m3 de béton

Correction de l'eau pour quantités d'additifs

	MI/100 kg ciment	MI	Densité	% de l'eau	Kg
SP	1050.0	359.87	1.040	80	0.299
AEA	195.0	66.83	1.007	95	0.064
TOTAL					0.363

Pourcentage de fins et gros dans le granulat recyclé

	Fins	Gros
(%)	14.4	85.6
Kg	13.9	82.3



# ANNEXE VI - RÉSULTATS INDIVIDUELS DE PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

## Compression

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; Témoïn 1 DATE ; 23-04-2015 TECH.: \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule														1cyl sur 3 : 3 endroits			
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)																	
dentification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	auteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 05 mm(max)	presse utilisée	% difference résultats	de de			
7 jours	1	7		715720	301	151.5	1.98	0.9982	18026.70	39.63	38.7						4.43			
7 jours	2	7		685350	303	152.0	1.99	0.9991	18145.88	37.73										

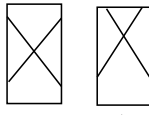
28 jours	1	28		806460	300	153.0	1.96	0.9964	18385.43	43.71	43.7						

56 jours	1	56		864310	296	150.0	1.97	0.9974	17671.50	48.78	48.8						

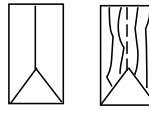
Cylindres petits

28 jours	1	28		301500	198	100.0	1.98	0.9980	7854.00	38.31	37.3						2.08
28 jours	2	28		295350	200	100.0	2.00	0.9996	7854.00	37.59							1.65
28 jours	3	28		290570	198	101.0	1.96	0.9963	8011.87	36.14							3.76

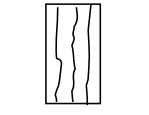
Type de rupture :



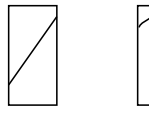
Type 1



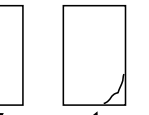
Type 2



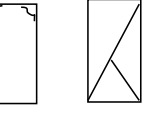
Type 3




Type 4



Type 5



Type 6



Type 1-A

< 25 mm

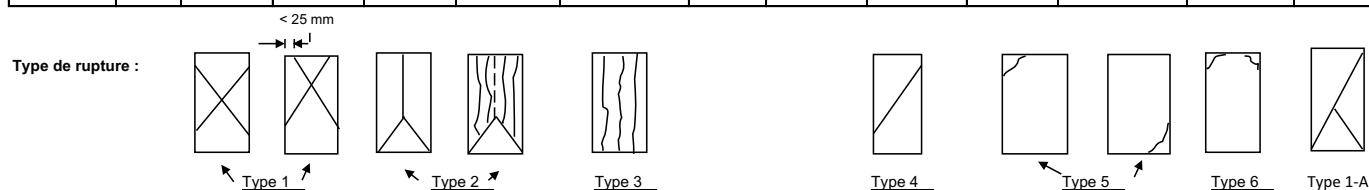
Néoprène : ☐ oui ☒ non

Remarque(s): \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; Témoïn 2 DATE ; 28-04-2015 TECH.: \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule														1cyl sur 3 : 3 endroits		
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)																
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	auteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm <sup>2</sup> )	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 05 mm(max)	presse utilisée	% différence résultats	de	de	
3 jours	1	3		449540	301	152.0	1.98	0.9977	18145.88	24.72	24.7								
7 jours	1	7		609260	300	153.0	1.96	0.9964	18385.43	33.02	33.0								
28 jours	1	28		733510	299	153.0	1.95	0.9958	18385.43	39.73	39.7							0.04	
28 jours	2	28		733770	299	153.0	1.95	0.9958	18385.43	39.74									
56 jours	1	56		370430	197	100.0	1.97	0.9971	7854.00	47.03	44.6							9.11	
56 jours	2	56		339490	199	101.0	1.97	0.9972	8011.87	42.25									



Néoprène : ☐ oui ☒ non

Remarque(s): \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; **10% 1 B**

DATE ; 04-05-2015

TECH.: \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule											1cyl sur 3 : 3 endroits			
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)														
dentification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	auteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 95 mm(max)	presse utilisée	% différence de résultats	
3 jours	1	3		535690	304	153.5	1.98	0.9980	18505.79	28.89	29.4					3.61	
3 jours	2	3		555050	304	153.5	1.98	0.9980	18505.79	29.93							

7 jours	1	7		643400	303	152.5	1.99	0.9985	18265.46	35.17	<b>35.2</b>							



Type de rupture :



Néoprène :

☐ oui ☒ non

Remarque(s):

---

## MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ;

10% 2 B

DATE ;

06-05-2015

TECH.:

Avant un essai			Vérifiez la rotule										1cyl sur 3 : 3 endroits			
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)													
dentification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	auteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 05 mm(max)	presse utilisée	% différence de résultat
7 jours	1	7		606550	297	153.0	1.94	0.9948	18385.43	32.82	32.8					0.99
7 jours	2	7		612530	300	154.0	1.95	0.9953	18626.55	32.73						
28 jours	1	28		320880	198	100.0	1.98	0.9980	7854.00	40.77	41.2					1.99
28 jours	2	28		767280	300	153.0	1.96	0.9964	18385.43	41.58						
56 jours	1	56		664590	300	154.0	1.95	0.9953	18626.55	35.51	35.5					

Type de rupture :



Néoprène :

oui non

Remarque(s):

# MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ;

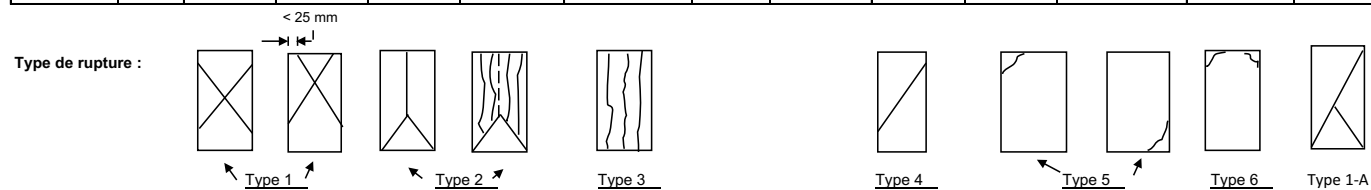
**75% 1 B**

DATE ;

13-06-2015

TECH.:

Avant un essai			Vérifiez la rotule										1 cyl sur 3 : 3 endroits				
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)														
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	auteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm <sup>2</sup> )	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 05 mm(max)	presse utilisée	% différence de résultats	de
3 jours	1	3		579080	301	153.0	1.97	0.9969	18385.43	31.40	<b>30.7</b>					3.10	
3 jours	2	3		561660	301	154.0	1.95	0.9959	18626.55	30.03							
7 jours	1	7		599320	297	153.0	1.94	0.9948	18385.43	32.43	<b>32.9</b>					4.34	
7 jours	2	7		625360	299	154.0	1.94	0.9948	18626.55	33.40							
28 jours	1	28		748100	302	153.0	1.97	0.9975	18385.43	40.59	<b>41.3</b>					2.19	
28 jours	2	28		764450	298	152.0	1.96	0.9964	18145.88	41.97							
56 jours	1	56		785720	301	155.0	1.94	0.9948	18869.24	41.43	<b>40.8</b>					5.85	
56 jours	2	56		742270	301	153.0	1.97	0.9969	18385.43	40.25							



Néoprène :

oui

non

Remarque(s):

## MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ;

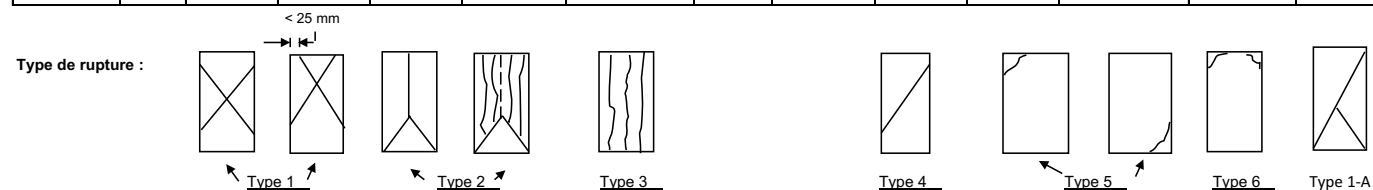
Témoïn 3

DATE ;

13-06-2015

TECH.:

Avant un essai			Vérifiez la rotule														1cyl sur 3 : 3 endroits			
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)																	
dentification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	auteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 05 mm(max)	presse utilisée	% difference de résultats				
3 jours	1	3		239580	202	101.0	2.00	0.9996	8011.87	29.89	30.8					3.88				
3 jours	2	3		248880	202	100.0	2.02	1.0012	7854.00	31.73										
7 jours	1	7		269070	199	101.0	1.97	0.9972	8011.87	33.49	32.9					3.51				
7 jours	2	7		259950	200	101.0	1.98	0.9980	8011.87	32.38										
28 jours	1	28		322140	197	100.0	1.97	0.9971	7854.00	40.90	42.2					8.41				
28 jours	2	28		349240	198	101.0	1.96	0.9963	8011.87	43.43										
56 jours	1	56		384720	198	102.0	1.94	0.9948	8171.30	46.84	46.0					3.66				
56 jours	2	56		371120	199	102.0	1.95	0.9956	8171.30	45.22										



Néoprène :

oui non

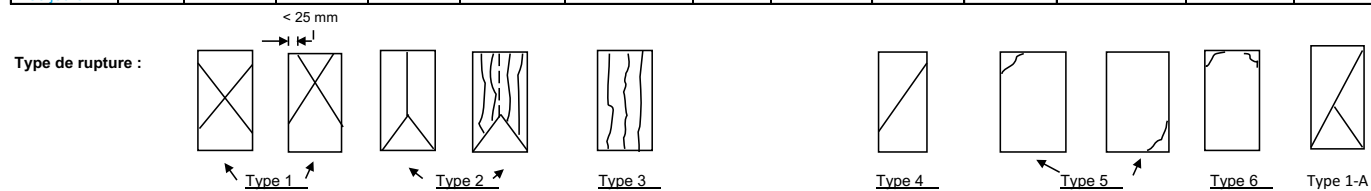
Remarque(s):

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; 100% 1 BDATE ; 21-06-2015

TECH. : \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule												1cyl sur 3 : 3 endroits			
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)															
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	hauteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 05 mm(max)	presse utilisée	% différence de résultats		
3 jours	1	3		479600	302	152.0	1.99	0.9985	18145.88	26.39	25.7					4.18		
3 jours	2	3		460350	302	153.0	1.97	0.9975	18385.43	24.98								
7 jours	1	7		480530	295	152.0	1.94	0.9948	18145.88	26.34	26.6					3.25		
7 jours	2	7		496690	296	153.0	1.93	0.9943	18385.43	26.86								
28 jours	1	28		584470	305	152.0	2.01	1.0001	18145.88	32.21	31.1					4.29		
28 jours	2	28		560450	304	154.0	1.97	0.9975	18626.55	30.01								
56 jours	1	56		621320	299	153.0	1.95	0.9958	18385.43	33.65	32.9					1.97		
56 jours	2	56		609310	298	153.0	1.95	0.9953	18385.43	32.99						3.02		
56 jours	3	56		590880	297	153.0	1.94	0.9948	18385.43	31.97						5.15		

Néoprène : ☐ oui ☒ non

Remarque(s): \_\_\_\_\_

MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; 10% 3 B

DATE ; 20-07-2015

TECH. :

Avant un essai			Vérifiez la rotule				Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)						1cyl sur 3 : 3 endroits				
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	auteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 05 mm(max)	presse utilisée	% différence de résultats	de
3 jours	1	3		523360	300	153.0	1.96	0.9964	18385.43	28.36	29.1					6.99	
3 jours	2	3		559960	292	154.0	1.90	0.9912	18626.55	29.80							
7 jours	1	7		587620	306	152.0	2.01	1.0007	18145.88	32.41	33.1					4.76	
7 jours	2	7		615620	300	152.0	1.97	0.9974	18145.88	33.84							
28 jours	1	28		684400	298	154.0	1.94	0.9943	18626.55	36.53	35.9					5.37	
28 jours	2	28		649500	300	153.0	1.96	0.9964	18385.43	35.20							
56 jours	1	56		662140	300	152.0	1.97	0.9974	18145.88	36.40	37.8					7.62	
56 jours	2	56		712570	299	152.0	1.97	0.9969	18145.88	39.15							

Type de rupture :

Type 1

Type 2

Type 3

Type 4

Type 5

Type 6

Type 1-A

Néoprène : oui non

Remarque(s):

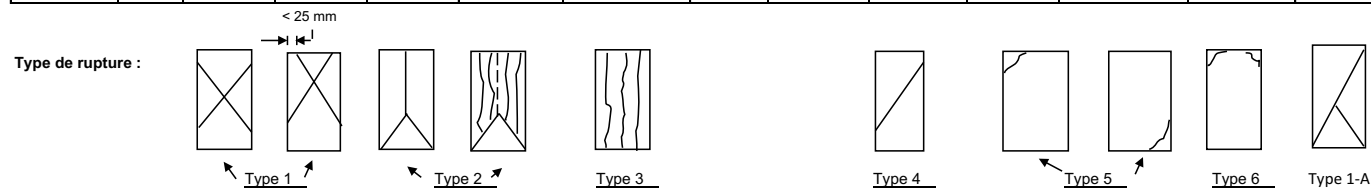


### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; 20% 1 BDATE ; 23-07-2015

TECH.: \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule									1cyl sur 3 : 3 endroits				
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)													
dentification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	auteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 05 mm(max)	presse utilisée	% difference de résultats
3 jours	1	3		553290	302	153.0	1.97	0.9975	18385.43	30.02	29.4					3.08
3 jours	2	3		536760	303	154.0	1.97	0.9969	18626.55	28.73						
7 jours	1	7		609380	298	153.0	1.95	0.9953	18385.43	32.99	33.5					4.41
7 jours	2	7		636240	298	154.0	1.94	0.9943	18626.55	33.96						
28 jours	1	28		676480	300	154.0	1.95	0.9953	18626.55	36.15	36.1					1.76
28 jours	2	28		664780	299	153.0	1.95	0.9958	18385.43	36.01						
56 jours	1	56		694840	299	152.0	1.97	0.9969	18145.88	38.17	38.9					5.00
56 jours	2	56		729550	301	153.0	1.97	0.9969	18385.43	39.56						

Néoprène : ☐ oui ☒ non

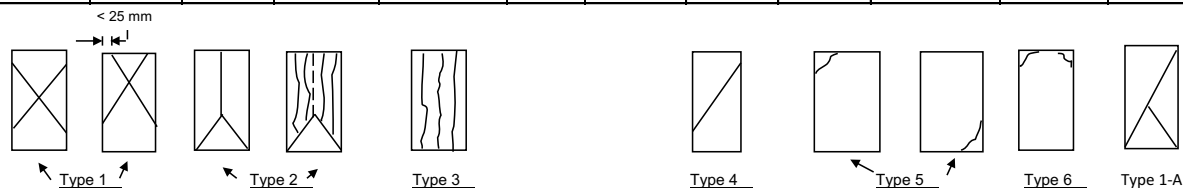
Remarque(s): \_\_\_\_\_

## MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; 35% 1 B DATE ; 27-07-2015 TECH.:

[illegible]

Type de rupture :



**Néoprène :**

oui	non
-----	-----

Remarque(s):

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ;

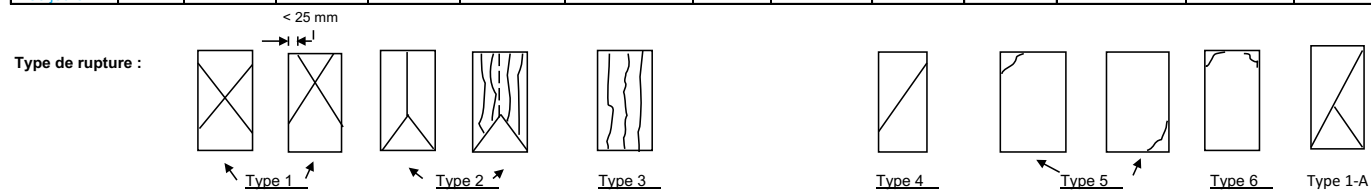
50% 1 B

DATE ;

13-08-2015

TECH.:

Avant un essai			Vérifiez la rotule												1cyl sur 3 : 3 endroits			
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)															
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	hauteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 05 mm(max)	presse utilisée	% différence résultats	de	
3 jours	1	3		547450	300	153.0	1.96	0.9964	18385.43	29.67	29.2					1.61		
3 jours	2	3		538770	299	154.0	1.94	0.9948	18626.55	28.77								
7 jours	1	7		547760	308	154.0	2.00	0.9996	18626.55	29.40	29.7					1.07		
7 jours	2	7		553610	305	153.0	1.99	0.9991	18385.43	30.08								
28 jours	1	28		660070	299	153.0	1.95	0.9958	18385.43	35.75	34.8					4.32		
28 jours	2	28		632710	299	154.0	1.94	0.9948	18626.55	33.79								
56 jours	1	56		667990	302	155.0	1.95	0.9954	18869.24	35.24	36.2					2.32		
56 jours	2	56		683460	300	153.0	1.96	0.9964	18385.43	37.04						3.49		
56 jours	3	56		660440	302	152.0	1.99	0.9985	18145.88	36.34						1.14		



Néoprène :

oui

non

Remarque(s):

## MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ;

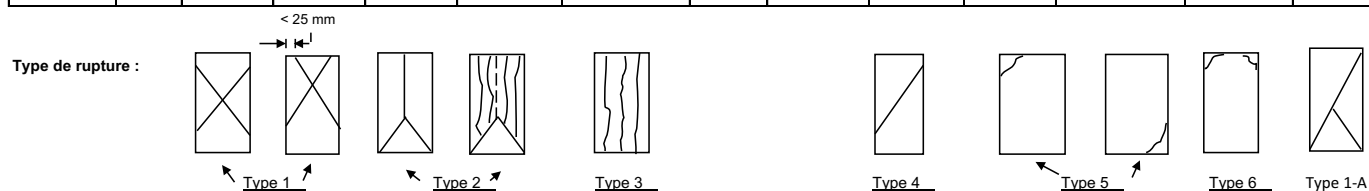
50% 2 B

DATE ;

10-10-2015

TECH.:

Avant un essai			Vérifiez la rotule		Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)												1 cyl sur 3 : 3 endroits			
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	auteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 05 mm(max)	presse utilisée	% différence de résultats				
3 jours	1	3		522430	300	152.0	1.97	0.9974	18145.88	28.72	28.0					6.59				
3 jours	2	3		490150	302	151.0	2.00	0.9996	17907.91	27.36										
7 jours	1	7		514650	300	152.0	1.97	0.9974	18145.88	28.29	28.6					2.46				
7 jours	2	7		527290	301	152.0	1.98	0.9980	18145.88	29.00										
28 jours	1	28		571690	300	151.0	1.99	0.9985	17907.91	31.88	32.9					7.33				
28 jours	2	28		616890	300	152.0	1.97	0.9974	18145.88	33.91										
56 jours	1	56		629870	301	153.0	1.97	0.9969	18385.43	34.15	35.2					4.71				
56 jours	2	56		659560	302	152.0	1.99	0.9985	18145.88	36.29										



Néoprène :

oui

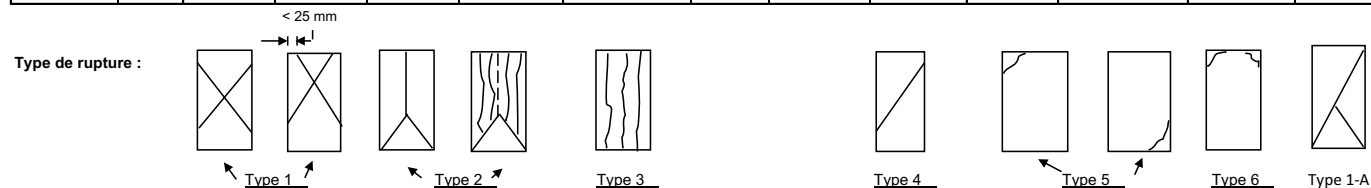
non

Remarque(s):

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; Temoin 4 DATE ; 20-09-2015 TECH.: \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule									1cyl sur 3 : 3 endroits				
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)													
dentification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	auteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 05 mm(max)	presse utilisée	% difference de résultats
3 jours	1	3		515310	299	153.0	1.95	0.9958	18385.43	27.91	27.2					4.29
3 jours	2	3		494120	299	154.0	1.94	0.9948	18626.55	26.39						
7 jours	1	7		698560	301	154.0	1.95	0.9959	18626.55	37.35	36.2					3.51
7 jours	2	7		674890	300	156.0	1.92	0.9933	19113.49	35.07						
28 jours	1	28		753580	302	153.0	1.97	0.9975	18385.43	40.88	40.1					3.76
28 jours	2	28		726290	301	153.0	1.97	0.9969	18385.43	39.38						
56 jours	1	56		786870	300	152.0	1.97	0.9974	18145.88	43.25	44.3					4.83
56 jours	2	56		824840	300	152.0	1.97	0.9974	18145.88	45.34						



Néoprène : ☐ oui ☒ non


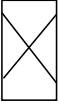
Remarque(s): \_\_\_\_\_

MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON


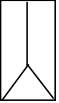
PROJET ; 75% 2 B DATE ; 20-09-2015 TECH.:

Avant un essai			Vérifiez la rotule														1cyl sur 3 : 3 endroits	
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)															
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	auteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 5 mm(max)	presse utilisée	% différence résultats	de	
3 jours	1	3		521660	298	153.0	1.95	0.9953	18385.43	28.24	29.6					8.43		
3 jours	2	3		565620	297	152.0	1.95	0.9958	18145.88	31.04								
7 jours	1	7		584180	301	155.0	1.94	0.9948	18869.24	30.80	31.9					6.01		
7 jours	2	7		619290	300	154.0	1.95	0.9953	18626.55	33.09								
28 jours	1	28		718420	296	153.0	1.93	0.9943	18385.43	38.85	39.1					0.47		
28 jours	2	28		715030	299	152.0	1.97	0.9969	18145.88	39.28								
60 jours	1	56		724970	298	153.0	1.95	0.9953	18385.43	39.25	40.3					4.00		
60 jours	2	56		753980	299	152.0	1.97	0.9969	18145.88	41.42								


Type de rupture :



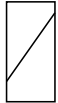
Type 1



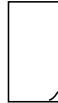

Type 2



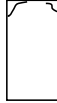
Type 3




Type 4



Type 5



Type 6



Type 1-A

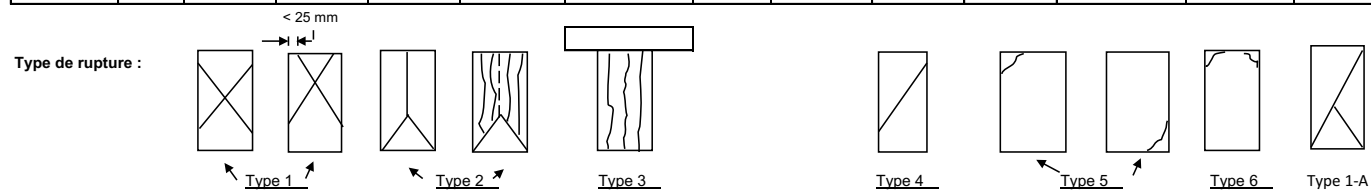
Néoprène : oui non

Remarque(s):

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; 75% 3 B DATE ; 11-10-2015 TECH. : \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule									1cyl sur 3 : 3 endroits				
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)													
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	hauteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 05 mm(max)	presse utilisée	% de différence de résultats
3 jours	1	3		503720	301	151.0	1.99	0.9991	17907.91	28.10	26.9					6.33
3 jours	2	3		473750	301	153.0	1.97	0.9969	18385.43	25.69						
7 jours	1	7		510790	301	152.0	1.98	0.9980	18145.88	28.09	28.7					5.65
7 jours	2	7		539630	300	153.0	1.96	0.9964	18385.43	29.24						
28 jours	1	28		593760	302	153.0	1.97	0.9975	18385.43	32.21	32.9					1.68
28 jours	2	28		603710	301	151.0	1.99	0.9991	17907.91	33.68						
56 jours	1	56		611870	303	152.0	1.99	0.9991	18145.88	33.69	34.4					2.55
56 jours	2	56		627480	302	151.0	2.00	0.9996	17907.91	35.03						



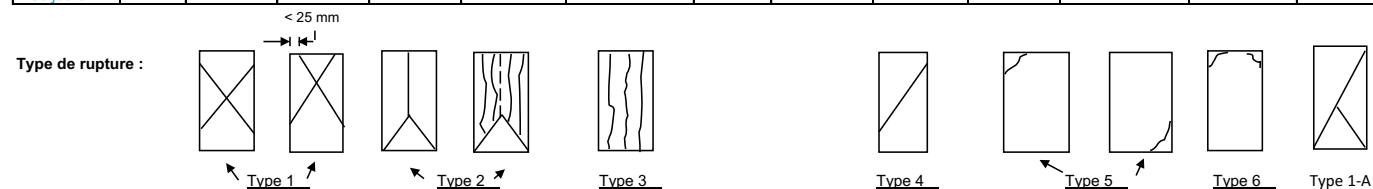
Néoprène : ☐ oui ☒ non

Remarque(s): \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; 20% 1 RB DATE ; 22-10-2015 TECH.: \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule														1 cyl sur 3 : 3 endroits			
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)																	
dentification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	auteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 05 mm(max)	presse utilisée	% difference de résultats	de de			
3 jours	1	3		279130	202	102.0	1.98	0.9980	8171.30	34.09	33.6					0.88				
3 jours	2	3		281580	199	103.0	1.93	0.9940	8332.31	33.59						4.09				
3 jours	3	3		270510	200	102.0	1.96	0.9964	8171.30	32.99						3.19				
7 jours	1	7		288000	197	101.0	1.95	0.9955	8011.87	35.79	37.1					3.47				
7 jours	2	7		298000	201	101.0	1.99	0.9988	8011.87	37.15						3.36				
7 jours	3	7		308000	200	101.0	1.98	0.9980	8011.87	38.36						6.94				
28 jours	1	28		353500	203	100.5	2.02	1.0012	7932.74	44.62	43.0					9.27				
28 jours	2	28		323500	202	100.5	2.01	1.0004	7932.74	40.80						7.42				
28 jours	3	28		347500	195	100.5	1.94	0.9947	7932.74	43.57						1.73				
56 jours	1	56		359690	200	101.0	1.98	0.9980	8011.87	44.80	45.2					2.44				
56 jours	2	56		368460	200	101.0	1.98	0.9980	8011.87	45.90						0.05				
56 jours	3	56		368630	197	102.0	1.93	0.9940	8171.30	44.84						2.49				



Néoprène : ☐ oui ☒ non

Remarque(s): \_\_\_\_\_

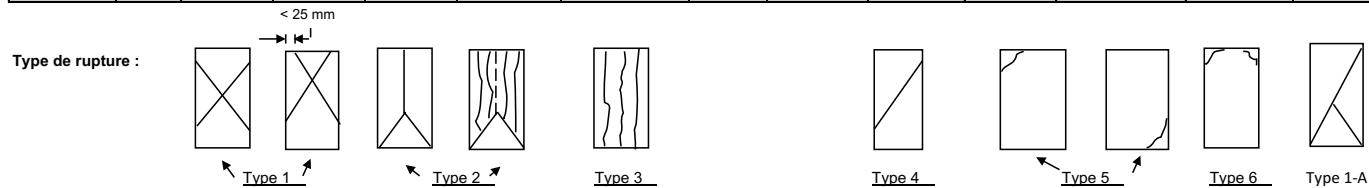


### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; 20% 2 RBDATE ; 16-06-2016

TECH.: \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule									1cyl sur 3 : 3 endroits				
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)													
dentification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	auteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. m/200 (max)	planéité 05 mm(max)	presse utilisée	% différence de résultats
3 jours	1	3		215140	200	101.0	1.98	0.9980	8011.87	26.80	26.2					2.21
3 jours	2	3		210380	201	102.0	1.97	0.9972	8171.30	25.67						
7 jours	1	7		240770	201	101.0	1.99	0.9988	8011.87	30.02	29.8					0.08
7 jours	2	7		240970	199	101.0	1.97	0.9972	8011.87	29.99						4.21
7 jours	3	7		231240	201	100.0	2.01	1.0004	7854.00	29.45						3.96
28 jours	1	28		283540	202	101.0	2.00	0.9996	8011.87	35.38	35.2					1.51
28 jours	2	28		287820	199	102.0	1.95	0.9956	8171.30	35.07						
56 jours	1	56		307010	199	101.0	1.97	0.9972	8011.87	38.21	37.1					3.88
56 jours	2	56		295110	200	102.0	1.96	0.9964	8171.30	35.98						

Néoprène : ☐ oui ☒ non

Remarque(s): \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; 75% 1 RBDATE ; 22-10-2015

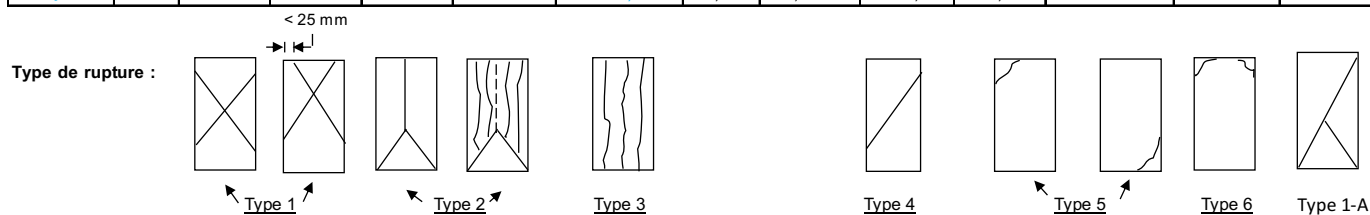
TECH. : \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule													
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)													
dentification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	hauteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm <sup>2</sup> )	mpa	moyenne	type de rupture	1cyl sur 3 : 3 endroits		presse utilisée	% de difference de résultats
													// et perp. 2mm/200 (max)	planéité 0,05 mm(max)		
3 jours	1	3		247500	203	101,0	2,01	1,0004	8011,87	30,90	<b>29.4</b>					7,96
3 jours	2	3		229260	201	102,0	1,97	0,9972	8171,30	27,98						

7 jours	1	7		246000	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	31,33	<b>31.3</b>					0,00
7 jours	2	7		246000	200	100,0	2,00	0,9996	7854,00	31,31						

28 jours	1	28		301500	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	38,40	<b>39.4</b>					5,97
28 jours	2	28		319500	198	100,0	1,98	0,9980	7854,00	40,60						3,73
28 jours	3	28		308000	200	100,0	2,00	0,9996	7854,00	39,20						2,16

56 jours	1	56		306330	195	102,0	1,91	0,9924	8171,30	37,20	<b>37.6</b>					1,27
56 jours	2	56		310220	198	102,0	1,94	0,9948	8171,30	37,77						0,32
56 jours	3	56		311220	194	102,0	1,90	0,9916	8171,30	37,77						1,57

Néoprène : ☐ oui ☒ non

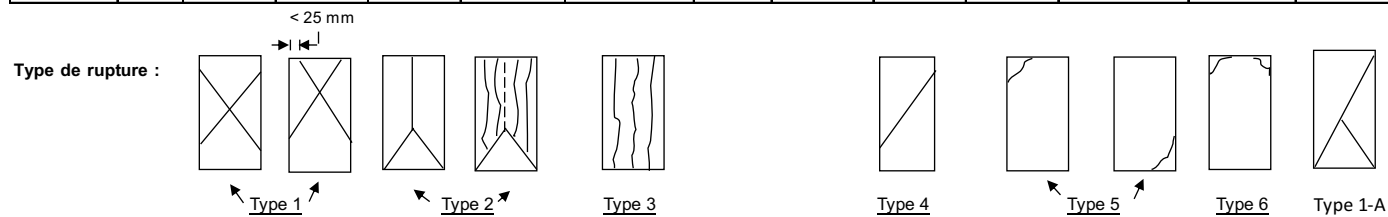
Remarque(s): \_\_\_\_\_

## MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; **75% 2 RB**DATE ; **21-06-2016**

TECH. : \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule		Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)								1cyl sur 3 : 3 endroits			
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	hauteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm <sup>2</sup> )	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. 2mm/200 (max)	planéité 0,05 mm(max)	presse utilisée	% de différence de résultats
3 jours	1	3		181300	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	22,58	<b>23.3</b>					6,53
3 jours	2	3		193140	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	24,08						
7 jours	1	7		224620	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	28,61	<b>27.2</b>					7,51
7 jours	2	7		208920	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	26,61						3,70
7 jours	3	7		216650	200	102,0	1,96	0,9964	8171,30	26,42						3,68
28 jours	1	28		242540	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	30,89	<b>32.0</b>					9,53
28 jours	2	28		265650	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	33,12						
56 jours	1	56		277560	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	34,60	<b>33.8</b>					5,69
56 jours	2	56		261780	200	100,0	2,00	0,9996	7854,00	33,32						2,54
56 jours	3	56		268590	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	33,46						3,34

Néoprène : ☐ oui ☒ non

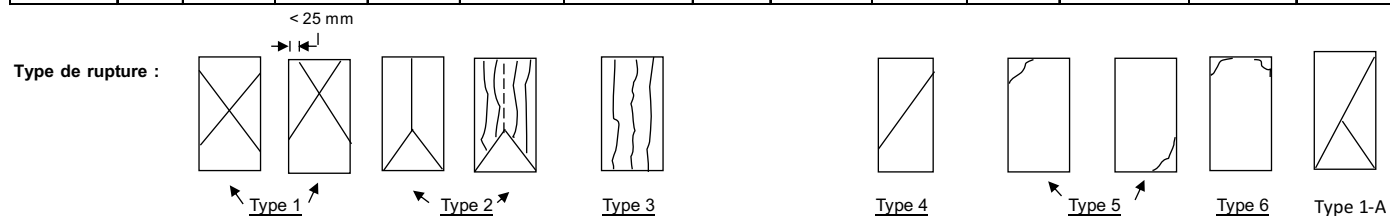
Remarque(s): \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; 100% 1 RBDATE ; 05-11-2015

TECH. : \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule											1cyl sur 3 : 3 endroits			
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)														
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	hauteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. 2mm/200 (max)	planéité 0,05 mm(max)	presse utilisée	% de difference de résultats	
3 jours	1	3		168900	199	100,0	1,99	0,9988	7854,00	21,48	20.5					5,75	
3 jours	2	3		159720	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	19,91						2,00	
3 jours	3	3		162920	193	101,0	1,91	0,9923	8011,87	20,18						3,67	
7 jours	1	7		199960	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	25,47	24.6					6,92	
7 jours	2	7		187010	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	23,29						5,21	
7 jours	3	7		196750	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	25,06						1,63	
28 jours	1	28		225740	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	28,14	28.0					1,25	
28 jours	2	28		222950	200	100,0	2,00	0,9996	7854,00	28,38						1,41	
28 jours	3	28		219860	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	27,39						2,67	
56 jours	1	56		243930	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	30,38	29.8					0,87	
56 jours	2	56		241800	199	102,0	1,95	0,9956	8171,30	29,46						3,82	
56 jours	3	56		232910	200	100,0	2,00	0,9996	7854,00	29,64						4,73	



Néoprène :

☐ oui ☒ non

Remarque(s):

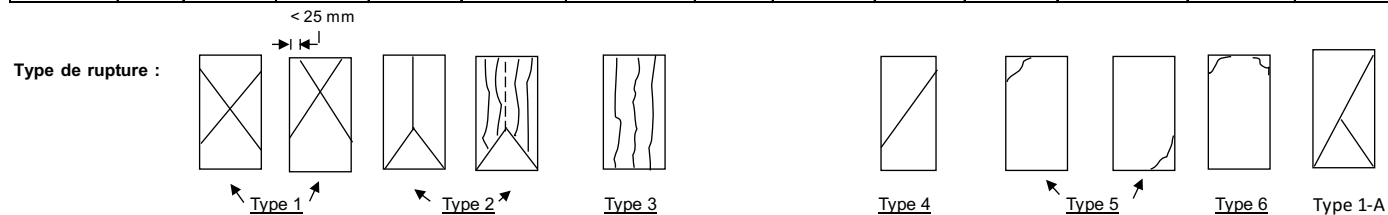
---

## MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; 10% 1 RBDATE ; 07-11-2015

TECH. : \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule		Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)								1cyl sur 3 : 3 endroits		presse utilisée	% de différence de résultats
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	hauteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm <sup>2</sup> )	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. 2mm/200 (max)	planéité 0,05 mm(max)		
3 jours	1	3		226120	199	101,0	1,97	0,9972	8011,87	28,14	<b>28.1</b>					1,24
3 jours	2	3		223350	199	100,0	1,99	0,9988	7854,00	28,40						0,40
3 jours	3	3		222470	199	101,0	1,97	0,9972	8011,87	27,69						1,64
7 jours	1	7		244170	200	100,0	2,00	0,9996	7854,00	31,08	<b>31.5</b>					5,10
7 jours	2	7		256620	198	101,0	1,96	0,9963	8011,87	31,91						
28 jours	1	28		281810	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	35,10	<b>36.3</b>					4,37
28 jours	2	28		294130	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	36,64						1,51
28 jours	3	28		298560	197	101,0	1,95	0,9955	8011,87	37,10						5,94
56 jours	1	56		305250	199	102,0	1,95	0,9956	8171,30	37,19	<b>38.1</b>					3,86
56 jours	2	56		317030	199	101,0	1,97	0,9972	8011,87	39,46						0,53
56 jours	3	56		315360	200	103,0	1,94	0,9948	8332,31	37,65						3,21


 Néoprène : 

oui	non
-----	-----

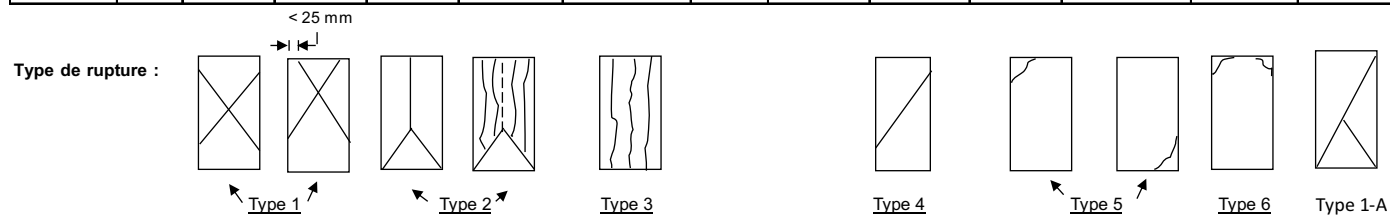
Remarque(s): \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; 35% 1 RBDATE ; 12-11-2015

TECH. : \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule													
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)													
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	hauteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm <sup>2</sup> )	mpa	moyenne	type de rupture	1cyl sur 3 : 3 endroits		presse utilisée	% de différence de résultats
													// et perp. 2mm/200 (max)	planéité 0,05 mm(max)		
3 jours	1	3		220130	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	27,42	<b>27.8</b>					4,53
3 jours	2	3		230100	196	101,0	1,94	0,9947	8011,87	28,57						3,90
3 jours	3	3		221470	198	101,0	1,96	0,9963	8011,87	27,54						0,61
7 jours	1	7		250520	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	31,91	<b>30.9</b>					5,74
7 jours	2	7		236930	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	29,54						5,60
7 jours	3	7		250200	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	31,17						0,13
28 jours	1	28		292090	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	36,41	<b>37.1</b>					0,33
28 jours	2	28		291130	198	101,0	1,96	0,9963	8011,87	36,20						4,14
28 jours	3	28		303190	203	100,0	2,03	1,0021	7854,00	38,68						3,80
56 jours	1	56		322030	199	100,0	1,99	0,9988	7854,00	40,95	<b>39.6</b>					2,96
56 jours	2	56		312510	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	38,96						1,88
56 jours	3	56		318500	206	102,0	2,02	1,0012	8171,30	39,03						1,11

Néoprène : ☐ oui ☒ non

Remarque(s): \_\_\_\_\_

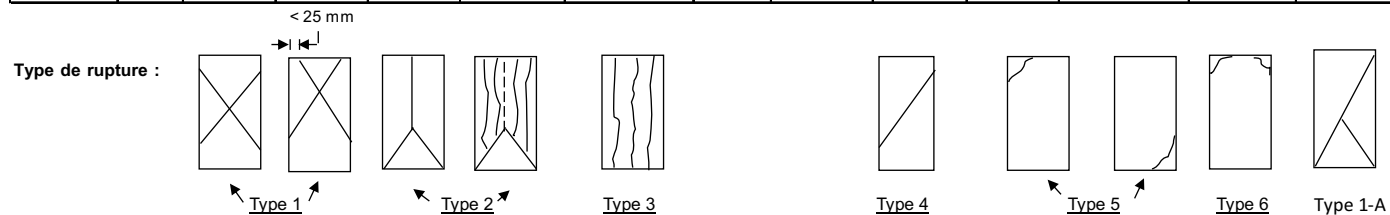
## MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; **35% 2 RB**

DATE ; 18-06-2016

TECH. : \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule									1cyl sur 3 : 3 endroits				
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)									// et perp.	planéité	presse	% de difference	
dentification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	hauteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	2mm/200 (max)	0,05 mm(max)	utilisée	de résultats
3 jours	1	3		210640	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	26,26	26.8					4,60
3 jours	2	3		220320	202	100,0	2,02	1,0012	7854,00	28,09						5,12
3 jours	3	3		209580	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	26,13						0,51
7 jours	1	7		231960	200	100,0	2,00	0,9996	7854,00	29,52	30.7					7,90
7 jours	2	7		250280	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	31,88				-		
28 jours	1	28		285050	200	100,0	2,00	0,9996	7854,00	36,28	35.2					5,93
28 jours	2	28		269090	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	33,55						6,69
28 jours	3	28		287080	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	35,76						0,71
56 jours	1	56		295880	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	36,89	37.3					2,38
56 jours	2	56		302930	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	37,73						

Néoprène : ☐ oui ☒ non

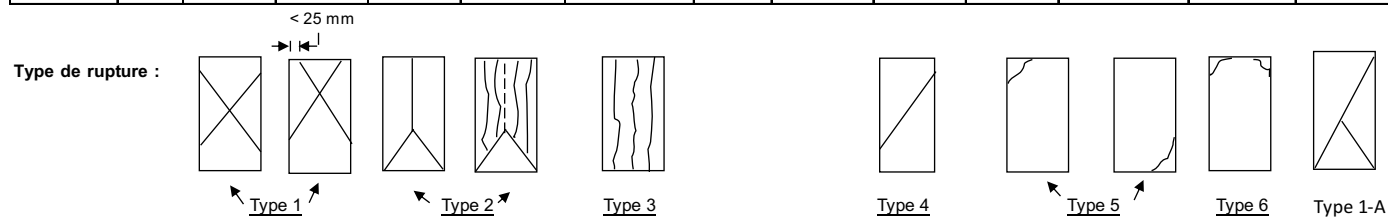
Remarque(s): \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; 50% 1 RBDATE ; 17-11-2015

TECH. : \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule										1cyl sur 3 : 3 endroits			
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)													
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	hauteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm2)	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. 2mm/200 (max)	planéité 0,05 mm(max)	presse utilisée	% de difference de résultats
3 jours	1	3		269520	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	34,33	35.1					4,60
3 jours	2	3		281930	200	100,0	2,00	0,9996	7854,00	35,88						0,08
3 jours	3	3		281710	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	35,09						4,52
7 jours	1	7		288560	202	101,0	2,00	0,9996	8011,87	36,00	36.6					5,04
7 jours	2	7		303090	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	37,75						4,33
7 jours	3	7		290510	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	36,19						0,68
28 jours	1	28		362350	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	45,13	45.3					0,31
28 jours	2	28		361220	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	44,99						0,67
28 jours	3	28		358790	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	45,70						0,98
56 jours	1	56		383970	201	102,0	1,97	0,9972	8171,30	46,86	47.5					1,51
56 jours	2	56		389750	201	102,0	1,97	0,9972	8171,30	47,56						0,98
56 jours	3	56		385980	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	48,08						0,52

Néoprène : ☐ oui ☒ non

Remarque(s): \_\_\_\_\_

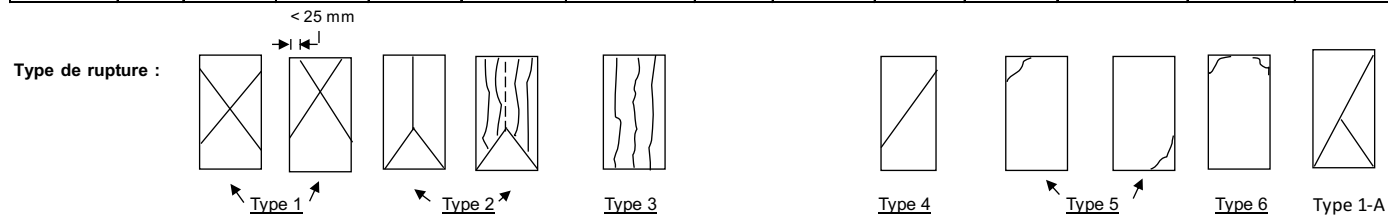


## MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; 50% 2 RBDATE ; 20-06-2016

TECH. : \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule		Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)								1cyl sur 3 : 3 endroits		presse utilisée	% de différence de résultats
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	hauteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm <sup>2</sup> )	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. 2mm/200 (max)	planéité 0,05 mm(max)		
3 jours	1	3		192310	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	23,95	<b>24.4</b>					6,12
3 jours	2	3		204070	200	102,0	1,96	0,9964	8171,30	24,88						
7 jours	1	7		238470	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	30,38	<b>28.6</b>					5,83
7 jours	2	7		225340	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	28,70						2,86
7 jours	3	7		219080	202	102,0	1,98	0,9980	8171,30	26,76						8,85
28 jours	1	28		259940	200	100,0	2,00	0,9996	7854,00	33,08	<b>32.4</b>					1,16
28 jours	2	28		256950	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	32,03						0,35
28 jours	3	28		257850	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	32,14						0,81
56 jours	1	56		274340	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	34,94	<b>34.5</b>					0,69
56 jours	2	56		276220	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	34,43						3,36
56 jours	3	56		267230	200	100,0	2,00	0,9996	7854,00	34,01						2,66


 Néoprène : 

oui	non
-----	-----

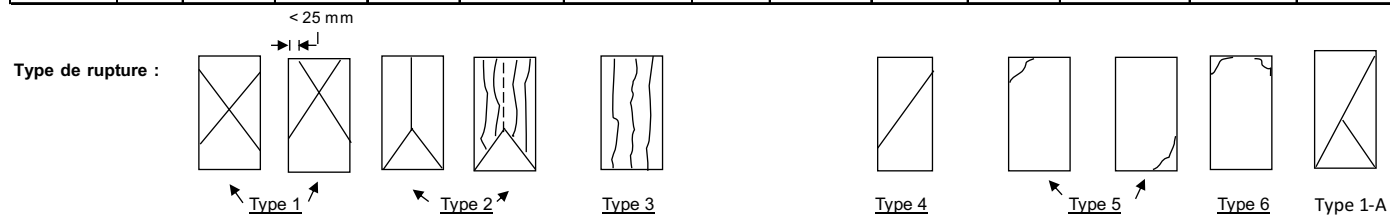
Remarque(s): \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON

PROJET ; **35% SATURÉ 1 RB**DATE ; **25-05-2016**

TECH. : \_\_\_\_\_

Avant un essai			Vérifiez la rotule												1cyl sur 3 : 3 endroits		
			Vérifiez le taux de chargement (0.25 ±05 mpa/s)														
identification	éch. #	âge du béton	lbs	newton	hauteur (mm)	diamètre (mm)	rapport	facteur	surface (mm <sup>2</sup> )	mpa	moyenne	type de rupture	// et perp. 2mm/200 (max)	planéité 0,05 mm(max)	presse utilisée	% de différence de résultats	
3 jours	1	3		192990	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	24,04	<b>25.4</b>					8,86	
3 jours	2	3		210080	200	100,0	2,00	0,9996	7854,00	26,74							
7 jours	1	7		220840	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	27,51	<b>27.7</b>					1,22	
7 jours	2	7		223540	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	27,87							
28 jours	1	28		277520	200	101,0	1,98	0,9980	8011,87	34,57	<b>34.2</b>					2,14	
28 jours	2	28		271700	202	101,0	2,00	0,9996	8011,87	33,90							
56 jours	1	56		290198	201	100,0	2,01	1,0004	7854,00	36,96	<b>37.5</b>					3,51	
56 jours	2	56		300395	202	102,0	1,98	0,9980	8171,30	36,69						3,57	
56 jours	3	56		311510	201	101,0	1,99	0,9988	8011,87	38,83						6,84	



Néoprène :

oui non

Remarque(s):

**Traction**PROJET ; Temoin 1DATE ; 23-04-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

**MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON**

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
7 jours	1	7	48500	215728		152	307,0		2,94	<b>2,9</b>	

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	68000	302464		153	298,0		4,22	<b>4,2</b>	

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET; Temoin 2DATE; 28-04-2015

TECH.; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	55000	244640		152	300,0		3,42	<b>3,4</b>	

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
7 jours	1	7	48500	215728		152	305,0		2,96	<b>3,0</b>	

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	62000	275776		152	307,5		3,76	<b>3,8</b>	

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	62000	275776		150	307,0		3,81	<b>3,8</b>	6,90
56 jours	2	56	58000	257984		154	306,0				

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 10% 1 BDATE ; 04-05-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	56000	249088		153,5	308,0		3,35	<b>3,5</b>	5,36
3 jours	2	3	59000	262432		152,5	307,0		3,57		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
7 jours	1	7	54600	242861		153	302,0		3,35	<b>3,3</b>	

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 10% 2 BDATE ; 06-05-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON												
dentification	éch. #	âge du béton	charge	newton (P)		diamètre (d)	longueur (l)			mpa	moyenne	% de difference de resultats
			(lbs)			(mm)	(mm)					
7 jours	1	7	55000	244640		155	309,0			3,25	3,1	10,00
7 jours	2	7	50000	222400		155	308,0			2,97		

dentification	éch. #	âge du béton	charge	newton (P)		diamètre (d)	longueur (l)			mpa	moyenne	% de difference de resultats
			(lbs)			(mm)	(mm)					
28 jours	1	28	73000	324704		153	299,0			4,52	4,5	

dentification	éch. #	âge du béton	charge	newton (P)		diamètre (d)	longueur (l)			mpa	moyenne	% de difference de resultats
			(lbs)			(mm)	(mm)					
56 jours	1	56	67000	298016		152	300,0			4,16	4,2	

dentification	éch. #	âge du béton	charge	newton (P)		diamètre (d)	longueur (l)			mpa	moyenne	% de difference de resultats
			(lbs)			(mm)	(mm)					

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 75% 1 BDATE ; 13-06-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	25500	113424		100	206,0		3,51	<b>3,5</b>	0,78
3 jours	2	3	25300	112534		100	209,0		3,43		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	29500	131216		101	202,0		4,09	<b>4,0</b>	0,68
28 jours	2	28	29300	130326		102	204,0		3,99		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	65000	289120		155	301,0		3,95	<b>3,8</b>	8,70
56 jours	2	56	59800	265990		153	300,0		3,69		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; Témoïn 3DATE ; 13-06-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	27300	121430		100	199,0		3,88	<b>3,7</b>	5,00
3 jours	2	3	26000	115648		101	205,0		3,56		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	32300	143670		100	205,0		4,46	<b>4,4</b>	0,94
28 jours	2	28	32000	142336		101	203,0		4,42		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	36500	162352		102	199,0		5,09	<b>4,9</b>	9,61
56 jours	2	56	33300	148118		102	198,0		4,67		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$



PROJET ; 100% 1 BDATE ; 21-06-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	21100	93853		100	207,0		2,89	<b>2,9</b>	2,76
3 jours	2	3	21700	96522		100	204,0		3,01		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	23000	102304		101	204,0		3,16	<b>3,1</b>	3,60
28 jours	2	28	22200	98746		101	207,0		3,01		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	23900	106307		101	205,0		3,27	<b>3,2</b>	2,51
56 jours	2	56	23300	103638		101	204,0		3,20		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 10% 3 BDATE ; 20-07-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	25100	111645		102	206,0		3,38	<b>3,4</b>	4,78
3 jours	2	3	26300	116982		104	205,0		3,49		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	25900	115203		101	203,0		3,58	<b>3,5</b>	0,38
28 jours	2	28	26000	115648		102	205,0		3,52		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	26400	117427		102	202,0		3,63	<b>3,7</b>	1,52
56 jours	2	56	26800	119206		101	203,0		3,70		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 20% 1 BDATE ; 23-07-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	21200	94298		100	195,0		3,08	<b>3.1</b>	2,36
3 jours	2	3	21700	96522		102	197,0		3,06		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	25300	112534		102	206,0		3,41	<b>3.3</b>	10,00
28 jours	2	28	23000	102304		102	204,0		3,13		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	26000	115648		100	205,0		3,59	<b>3.6</b>	0,78
56 jours	2	56	25800	114758		100	206,0		3,55		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 35% 1 BDATE ; 27-07-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	21800	96966		101	206,0		2,97	<b>3,0</b>	0,92
3 jours	2	3	21600	96077		102	204,0		2,94		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	23700	105418		101	203,0		3,27	<b>3,2</b>	0,42
28 jours	2	28	23600	104973		102	204,0		3,21		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	25000	111200		100	204,0		3,47	<b>3,5</b>	0,40
56 jours	2	56	24900	110755		100	203,0		3,47		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 50% 1 BDATE ; 13-08-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	20200	89850		102	204,0		2,75	<b>2.7</b>	4,95
3 jours	2	3	19200	85402		101	202,0		2,66		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	26700	118762		102	202,0		3,67	<b>3.7</b>	1,48
28 jours	2	28	27100	120541		102	206,0		3,65		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	24600	109421		102	202,0		3,38	<b>3.4</b>	1,99
56 jours	2	56	25100	111645		101	205,0		3,43		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 50% 2 BDATE ; 10-10-2015TECH.; 

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	20100	89404,8		101	206,0		2,74	<b>2,6</b>	9,45
3 jours	2	3	18200	80953,6		100	205,0		2,51		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	22400	99635,2		101	206,0		3,05	<b>3,2</b>	9,68
28 jours	2	28	24800	110310,4		102	206,0		3,34		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	24300	108086,4		102	205,0		3,29	<b>3,3</b>	1,62
56 jours	2	56	24700	109865,6		102	204,0		3,36		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; Témoïn 4DATE ; 20-09-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	26600	118317		101	204,0		3,66	<b>3,5</b>	6,02
3 jours	2	3	25000	111200		102	202,0		3,44		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	29000	128992		103	206,0		3,87	<b>4,0</b>	5,84
28 jours	2	28	30800	136998		102	209,0		4,09		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	34300	152566		100	207,0		4,69	<b>4,8</b>	4,72
56 jours	2	56	36000	160128		101	203,0		4,97		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 75% 2 BDATE ; 20-09-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	23500	104528		102	203,0		3,21	<b>3,1</b>	8,51
3 jours	2	3	21500	95632		101	207,0		2,91		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	26200	116538		103	206,0		3,50	<b>3,5</b>	2,34
28 jours	2	28	25600	113869		103	205,0		3,43		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	27100	120540,8		102	204,0		3,69	<b>3,7</b>	3,21
56 jours	2	56	28000	124544		102	205,0		3,79		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$



PROJET ; 75% 3 BDATE ; 11-10-2015TECH.; 

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	20700	92073,6		101	203,0		2,86	<b>2,7</b>	3,86
3 jours	2	3	19900	88515,2		102	202,0		2,73		5,03
3 jours	3	3	18900	84067,2		102	204,0		2,57		9,52

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	23500	104528,0		103	203,0		3,18	<b>3,1</b>	3,83
28 jours	2	28	22600	100524,8		102	205,0		3,06		1,33
28 jours	3	28	22900	101859,2		102	203,0		3,13		2,62

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	24800	110310,4		103	204,0		3,34	<b>3,3</b>	3,77
56 jours	2	56	23900	106307,2		103	205,0		3,21		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 20% 1 RBDATE ; 22-10-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	28400	126323		102	203,0		3,88	<b>3,7</b>	4,93
3 jours	2	3	27000	120096		104	207,0		3,55		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	31200	138778		100	205,0		4,31	<b>4,2</b>	4,81
28 jours	2	28	29700	132106		102	206,0		4,00		6,73
28 jours	3	28	31700	141002		101	202,0		4,40		1,58

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	31900	141891		101	203,0		4,41	<b>4,3</b>	0,94
56 jours	2	56	31600	140557		101	204,0		4,34		1,27
56 jours	3	56	31200	138778		102	203,00		4,27		2,24

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 20% 2 RBDATE ; 16-06-2016

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	26100	116093		102	201,0		3,60	<b>3.6</b>	1,92
3 jours	2	3	26600	118317		102	200,0		3,69		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	29800	132550		102	206,0		4,02	<b>4.2</b>	3,69
28 jours	2	28	30900	137443		102	201,0		4,27		2,91
28 jours	3	28	30000	133440		101	200,0		4,21		0,67

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	30400	135219		100	205,0		4,20	<b>4.3</b>	4,93
56 jours	2	56	31900	141891		101	205,0		4,36		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 75% 1 RBDATE ; 22-10-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	24400	108531		103	206,0		3,26	<b>3,2</b>	1,23
3 jours	2	3	24100	107197		103	205,0		3,23		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	26300	116982		103	201,0		3,60	<b>3,5</b>	4,94
28 jours	2	28	25000	111200		101	201,0		3,49		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	25700	114314		101	205,0		3,51	<b>3,6</b>	7,39
56 jours	2	56	27600	122765		103	204,0		3,72		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 75% 2 RBDATE ; 21-06-2016

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	22000	97856,0		101	205,0		3,01	<b>3,1</b>	7,27
3 jours	2	3	23600	104972,8		101	205,0		3,23		4,66
3 jours	3	3	22500	100080,0		102	203,0		3,08		2,22

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	23900	106307,2		101	206,0		3,25	<b>3,4</b>	3,35
28 jours	2	28	24700	109865,6		102	203,0		3,38		7,29
28 jours	3	28	26500	117872,0		102	205,0		3,59		9,81

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	25700	114313,6		102	205,0		3,48	<b>3,6</b>	3,89
56 jours	2	56	26700	118761,6		102	204,0		3,63		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 100% 1 RBDATE ; 05-11-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	13700	60938		102	204,0		1,86	<b>1,9</b>	0,73
3 jours	2	3	13600	60493		101	201,0		1,90		1,47
3 jours	3	3	13800	61382		100	203,0		1,92		0,72

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	19500	86736		102	203,0		2,67	<b>2,6</b>	1,54
28 jours	2	28	19200	85402		102	205,0		2,60		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	21300	94742		101	203,0		2,94	<b>2,9</b>	3,76
56 jours	2	56	22100	98301		101	203,0		3,05		9,05
56 jours	3	56	20100	89405		101	204,0		2,76		5,97

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 10% 1 RBDATE ; 07-11-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	23900	106307		101	204,0		3,28	<b>3,2</b>	4,60
3 jours	2	3	22800	101414		101	204,0		3,13		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	27800	123654		101	203,0		3,84	<b>3,9</b>	3,24
28 jours	2	28	28700	127658		101	205,0		3,93		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	30600	136109		100	205,0		4,23	<b>4,1</b>	7,52
56 jours	2	56	28300	125878		100	203,0		3,95		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 35% 1 RBDATE ; 12-11-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	23100	102749		101	202,0		3,21	<b>3,2</b>	0,87
3 jours	2	3	23300	103638		102	203,0		3,19		1,72
3 jours	3	3	23700	105418		102	202,0		3,26		2,53

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	25400	112979		101	204,0		3,49	<b>3,6</b>	1,97
28 jours	2	28	25900	115203		101	204,0		3,56		4,63
28 jours	3	28	27100	120541		101	204,0		3,72		6,27

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	26400	117427		101	205,0		3,61	<b>3,7</b>	4,55
56 jours	2	56	27600	122765		101	205,0		3,77		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$



PROJET ; 35% 2 RBDATE ; 18-06-2016TECH.; 

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	22400	99635,2		100	205,0		3,09	<b>3.2</b>	6,25
3 jours	2	3	23800	105862,4		101	203,0		3,29		3,78
3 jours	3	3	22900	101859,2		101	203,0		3,16		2,18

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	26100	116092,8		101	206,0		3,55	<b>3.5</b>	3,57
28 jours	2	28	25200	112089,6		101	205,0		3,45		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	26800	119206,4		102	205,0		3,63	<b>3.6</b>	4,28
56 jours	2	56	25700	114313,6		100	204,0		3,57		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 50% 1 RBDATE ; 17-11-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	21900	97411		101	205,0		3,00	<b>3,1</b>	8,22
3 jours	2	3	23700	105418		101	203,0		3,27		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	25900	115203		101	204,0		3,56	<b>3,7</b>	6,95
28 jours	2	28	27700	123210		100	204,0		3,84		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	27100	120541		100	205,0		3,74	<b>3,9</b>	7,01
56 jours	2	56	29000	128992		100	206,0		3,99		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; 50% 2 RBDATE ; 20-06-2016

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	21900	97411		102	203,0		2,99	<b>3.0</b>	1,83
3 jours	2	3	22300	99190		100	204,0		3,10		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	24900	110755		101	203,0		3,44	<b>3.6</b>	7,63
28 jours	2	28	26800	119206		102	203,0		3,67		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	26900	119651		102	203,0		3,68	<b>3.6</b>	1,12
56 jours	2	56	26600	118317		102	205,0		3,60		1,50
56 jours	3	56	27000	120096		102	205,0		3,66		0,37

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

F'c MPA = newton / surface

Traction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

PROJET ; **35% SATURÉ 1 RB**DATE ; 25-05-2016

TECH. ; \_\_\_\_\_

**MESURE DE LA RÉSISTANCE EN TRACTION DU BÉTON**

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
3 jours	1	3	20800	92518		101	199,0		2,93	<b>2,9</b>	1,92
3 jours	2	3	20400	90739		100	204,0		2,83		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
28 jours	1	28	28600	127213		101	204,0		3,93	<b>3,8</b>	5,24
28 jours	2	28	27100	120541		101	202,0		3,76		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats
56 jours	1	56	29900	132995		102	205,0		4,05	<b>4,1</b>	1,00
56 jours	2	56	30200	134330		102	205,0		4,09		

dentification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)		diamètre (d) (mm)	longueur (l) (mm)		mpa	moyenne	% de difference de resultats

**F'c** MPA = newton / surfaceTraction =  $2P / 3.1416 \times l \times d$

## Flexion

PROJET ; Témoïn 1DATE ; 23-04-2015TECH.; 

MESURE DE LA RÉSISTANCE EN FLEXION DU BÉTON												
Identification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)	Largeur (b) (mm)	épaisseur (d) (mm)	portée (l) (mm)	a (mm)	MPa (dehors de 1/3(l))	MPa (dans 1/3(l))	moyenne	% de difference de résultats
7 jours	1	7	4700	20905,6	101	100	300			6,21	<u>6,2</u>	
28 jours	1	28	5120	22773,8	105	100	300			6,51	<u>6,5</u>	
56 jours	1	56	5870	26109,8	102	99	300			7,84	<u>7,8</u>	

TECH.; \_\_\_\_\_

[illegible]

PROJET ; 10% 1 BDATE ; 04-05-2015

TECH.; \_\_\_\_\_

**MESURE DE LA RÉSISTANCE EN FLEXION DU BÉTON**

Identification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)	Largeur (b) (mm)	épaisseur (d) (mm)	portée (l) (mm)	a (mm)	MPa (dehors de 1/3(l))	MPa (dans 1/3(l))	moyenne	% de difference de résultats
3 jours	1	3	3160	14055,7	101	100	300			4,17	<u><b>4,2</b></u>	
7 jours	1	7	4500	20016,0	102	101	300			5,77	<u><b>5,7</b></u>	4,17
7 jours	2	7	4320	19215,4	101	100	300			5,71		
14 jours	1	14	3875	17236,0	101	100	300			5,12	<u><b>5,1</b></u>	
28 jours	1	28	4300	19126,4	101	100	300			5,68	<u><b>5,7</b></u>	

TECH.; \_\_\_\_\_

[illegible]



[illegible]

PROJET ; Témoïn 3DATE ; 13-06-2015

TECH.; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN FLEXION DU BÉTON

Identification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)	Largeur (b) (mm)	épaisseur (d) (mm)	portée (l) (mm)	a (mm)	MPa (dehors de 1/3(l))	MPa (dans 1/3(l))	moyenne	% de différence de résultats
3 jours	1	3	3450	15345,6	101	100	300			4,56	<b><u>4,4</u></b>	5,34
3 jours	2	3	3275	14567,2	101	101	300			4,24		
28 jours	1	28	4480	19927,0	100	100	300			5,98	<b><u>6,0</u></b>	2,90
28 jours	2	28	4610	20505,3	102	100	300			6,03		
56 jours	1	56	4820	21439,4	102	101	300			6,18	<b><u>6,2</u></b>	2,01
56 jours	2	56	4725	21016,8	101	101	300			6,12		

[illegible]

PROJET ; 10% 3 BDATE ; 20-07-2015

TECH. ; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN FLEXION DU BÉTON

Identification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)	Largeur (b) (mm)	épaisseur (d) (mm)	portée (l) (mm)	a (mm)	MPa (dehors de 1/3(l))	MPa (dans 1/3(l))	moyenne	% de différence de résultats
3 jours	1	3	3860	17169,3	104	100	300			4,95	<b><u>4,9</u></b>	2,12
3 jours	2	3	3780	16813,4	102	100	300			4,95		
28 jours	1	28	4365	19415,5	101	101	300			5,65	<b><u>5,6</u></b>	0,69
28 jours	2	28	4335	19282,1	103	100	300			5,62		
56 jours	1	56	4170	18548,2	102	100	300			5,46	<b><u>5,7</u></b>	9,83
56 jours	2	56	4580	20371,8	102	101	300			5,87		

[illegible]

PROJET ; 35% 1 BDATE ; 27-07-2015

TECH.; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN FLEXION DU BÉTON

Identification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)	Largeur (b) (mm)	épaisseur (d) (mm)	portée (l) (mm)	a (mm)	MPa (dehors de 1/3(l))	MPa (dans 1/3(l))	moyenne	% de différence de résultats
3 jours	1	3	3170	14100,2	101	101	300			4,11	<u><b>4,1</b></u>	0,48
3 jours	2	3	3155	14033,4	102	101	300			4,05		
28 jours	1	28	3810	16946,9	101	100	300			5,03	<u><b>5,0</b></u>	1,31
28 jours	2	28	3760	16724,5	100	100	300			5,02		
56 jours	1	56	3960	17614,1	100	100	300			5,28	<u><b>5,4</b></u>	2,94
56 jours	2	56	4080	18147,8	100	100	300			5,44		

[illegible]

TECH.; \_\_\_\_\_

[illegible]





TECH.; \_\_\_\_\_

[illegible]

[illegible]

PROJET ; 75% 1 RBDATE ; 22-10-2015

TECH.; \_\_\_\_\_

### MESURE DE LA RÉSISTANCE EN FLEXION DU BÉTON

Identification	éch. #	âge du béton	charge (lbs)	newton (P)	Largeur (b) (mm)	épaisseur (d) (mm)	portée (l) (mm)	a (mm)	MPa (dehors de 1/3(l))	MPa (dans 1/3(l))	moyenne	% de différence de résultats
3 jours	1	3	3140	13966,7	102	100	300			4,11	<b><u>4,0</u></b>	1,88
3 jours	2	3	3200	14233,6	104	100	300			4,11		7,74
3 jours	3	3	2970	13210,6	100	101	300			3,89		5,72
28 jours	1	28	3695	16435,4	100	99	300			5,03	<b><u>5,2</u></b>	6,57
28 jours	2	28	3955	17591,8	100	99	300			5,38		
56 jours	1	56	4090	18192,3	101	101	300			5,30	<b><u>5,3</u></b>	2,51
56 jours	2	56	3990	17747,5	100	100	300			5,32		1,24
56 jours	3	56	4040	17969,9	101	102	300			5,13		1,24

[illegible]

TECH.; \_\_\_\_\_

[illegible]



TECH.; \_\_\_\_\_

[illegible]



[illegible]

TECH.; \_\_\_\_\_

[illegible]

PROJET ; 50% 2 RB

DATE ; 20-06-2016

TECH.; \_\_\_\_\_

## MESURE DE LA RÉSISTANCE EN FLEXION DU BÉTON

[illegible]

TECH.; \_\_\_\_\_

[illegible]

# ANNEXE VII - MODULES D'ÉLASTICITÉ DES BÉTONS ÉTUDIÉS

Bétons			Valeurs (GPa)	Moyenne (GPa)	Différence entre les résultats (%)	Cylindres (mm)
	Témoin	Témoin 2 (1)	37,0	36,4	2,8	150x300
		Témoin 2 (2)	35,9			
BA - 31,5 mm	10%	10% 2 B (1)	18,8	18,9	0,6	150x300
		10% 2 B (2)	19,0			
	10%	10% 3 B (1)	18,2	17,9	3,1	150x300
		10% 3 B (2)	17,6			
	20%	20% 1 B (1)	17,8	18,2	4,5	150x300
		20% 1 B (2)	18,6			
	35%	35% 1 B (1)	16,2	16,1	1,1	150x300
		35% 1 B (2)	16,0			
	50%	50% 1 B (1)	15,9	15,9	0,4	150x300
		50% 1 B (2)	15,9			
	75%	75% 1 B (1)	17,0	16,6	5,1	150x300
		75% 1 B (2)	16,2			
	100%	100% 1 B (1)	13,7	13,4	4,1	150x300
		100% 1 B (2)	13,1			
	Témoin	Témoin 3 (1)	37,3	37,4	0,4	100x200
		Témoin 3 (2)	37,4			
RB - 28 mm	10%	10% 1 RB (1)	33,7	34,2	2,9	100x200
		10% 1 RB (2)	34,7			
	20%	20% 1 RB (1)	36,6	36,7	0,4	100x200
		20% 1 RB (2)	36,8			
	35%	35% 1 RB (1)	32,0	31,7	2,3	100x200
		35% 1 RB (2)	31,3			
	50%	50% 1 RB (1)	31,6	31,6	0,2	100x200
		50% 1 RB (2)	31,5			
	75%	75% 1 RB (1)	31,5	31,3	1,2	100x200
		75% 1 RB (2)	31,1			
	100%	100% 1 RB (1)	22,7	23,6	7,7	100x200
		100% 1 RB (2)	24,6			
	35% Saturé	35% SATURÉ 1 RB (1)	16,0	15,8	2,8	100x200
		35% SATURÉ 1 RB (2)	15,6			

## ANNEXE VIII - RÉSULTATS D'ABRASION POUR LES BÉTONS OPTIMISÉS ET LE BÉTON TÉMOIN

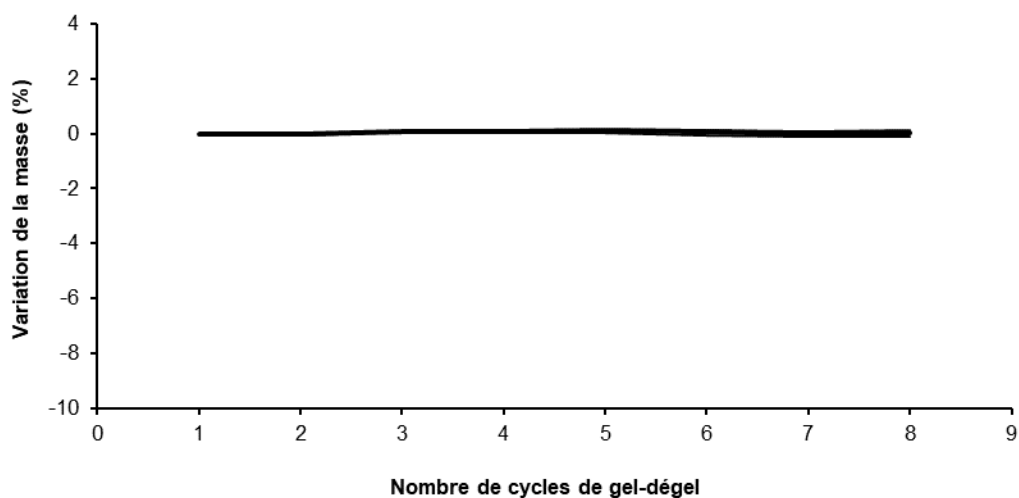
Temps d'essai	Béton Témoin					Béton 35% GR 28 mm					Béton 35%GR 31,5 mm				
	Profondeur (millième de pouce)					Profondeur (millième de pouce)					Profondeur (millième de pouce)				
(sec)	Mesures			Moyenne	Écart Type	Mesures			Moyenne	Écart Type	Mesures			Moyenne	Écart Type
0	2	3	4	3	1	2	2	2	2	0	2	2	2	2	0
10	4	9	9	7	3	5	3	4	4	1	6	7	7	7	1
20	7	13	12	11	3	7	4	5	5	2	10	10	12	11	1
30	10	18	17	15	4	10	5	7	7	3	12	13	15	13	2
40	12	23	21	19	6	12	6	8	9	3	14	16	18	16	2
50	17	27	23	22	5	14	7	9	10	4	15	17	20	17	3
100	22	37	30	30	8	20	11	12	14	5	19	22	24	22	3
150	27	44	33	35	9	24	14	15	18	6	23	25	27	25	2
200	30	54	37	40	12	26	17	18	20	5	25	27	31	28	3
250	33	57	41	44	12	27	20	21	23	4	27	29	33	30	3
300	38	60	44	47	11	28	22	24	25	3	29	31	37	32	4
350	40	64	47	50	12	29	25	26	27	2	30	33	40	34	5
400	41	68	49	53	14	30	27	28	28	2	32	34	41	36	5
450	43	70	50	54	14	31	29	31	30	1	33	36	43	37	5
500	45	73	51	56	15	32	32	33	32	1	34	37	45	39	6
550	46	76	53	58	16	32	34	36	34	2	36	39	47	41	6
600	48	79	55	61	16	33	36	38	36	3	38	41	49	43	6
650	49	82	56	62	17	33	38	40	37	4	39	43	50	44	6
700	50	85	59	65	18	33	40	42	38	5	40	44	51	45	6
750	52	88	61	67	19	33	41	44	39	6	41	45	53	46	6
800	54	91	62	69	19	34	43	47	41	7	42	47	54	48	6
850	55	94	64	71	20	34	44	48	42	7	43	48	55	49	6
900	55	96	66	72	21	35	46	51	44	8	44	49	56	50	6
950	56	98	67	74	22	35	48	53	45	9	45	51	57	51	6
1000	57	100	69	75	22	35	50	55	47	10	46	53	58	52	6
1050	58	101	70	76	22	36	52	57	48	11	47	54	59	53	6
1100	60	103	71	78	22	36	53	60	50	12	47	55	60	54	7
1150	61	104	72	79	22	36	55	62	51	13	48	56	61	55	7
1200	62	105	73	80	22	37	57	65	53	14	48	57	62	56	7

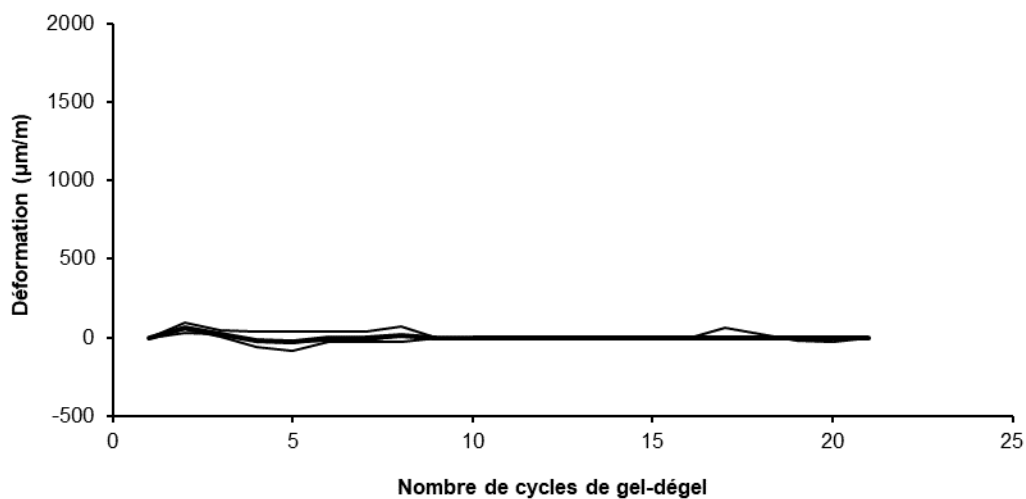
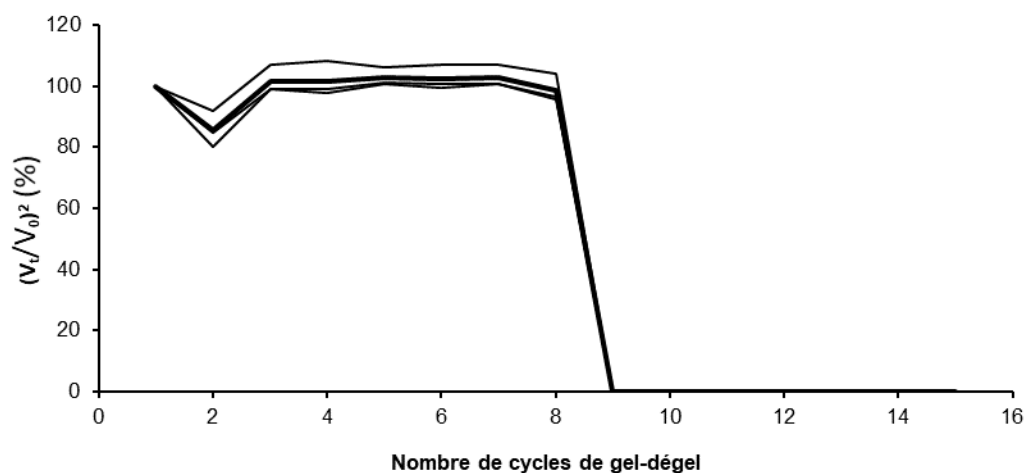
# ANNEXE IX - RÉSULTATS DE DURABILITÉ

## Durabilité aux cycles de gel-dégel Procédure ASTM C-666 A

Identification du béton : **E212**  
 No du projet : **Tém-Durable-2**  
 Date de fabrication du béton : **07-05-2016**

Nombre de cycles	Variation de la masse (%)				$(V_t/V_0)^2$ (%)				Déformation ( $\mu\text{m}/\text{m}$ )			
	P1	P2	P3	Moy	P1	P2	P3	Moy	P1	P2	P3	Moy
<b>0</b>	0	0	0	<b>0</b>	100	100	100	<b>100</b>	0	0	0	<b>0</b>
<b>24</b>	0,0	-0,1	0,0	<b>0,0</b>	92	85	80	<b>85</b>	52	96	32	<b>60</b>
<b>61</b>	0,1	0,1	0,1	<b>0,1</b>	107	99	99	<b>102</b>	4	44	20	<b>23</b>
<b>96</b>	0,1	0,0	0,1	<b>0,1</b>	108	98	99	<b>102</b>	-64	36	-24	<b>-17</b>
<b>142</b>	0,1	0,0	0,1	<b>0,1</b>	106	101	101	<b>103</b>	-84	36	-28	<b>-25</b>
<b>176</b>	0,1	-0,1	0,1	<b>0,1</b>	107	99	101	<b>102</b>	-28	36	-24	<b>-5</b>
<b>228</b>	0,1	-0,1	0,0	<b>0,0</b>	107	101	101	<b>103</b>	-28	40	-24	<b>-4</b>
<b>300</b>	0,1	-0,1	0,0	<b>0,0</b>	104	96	96	<b>99</b>	-32	68	12	<b>16</b>



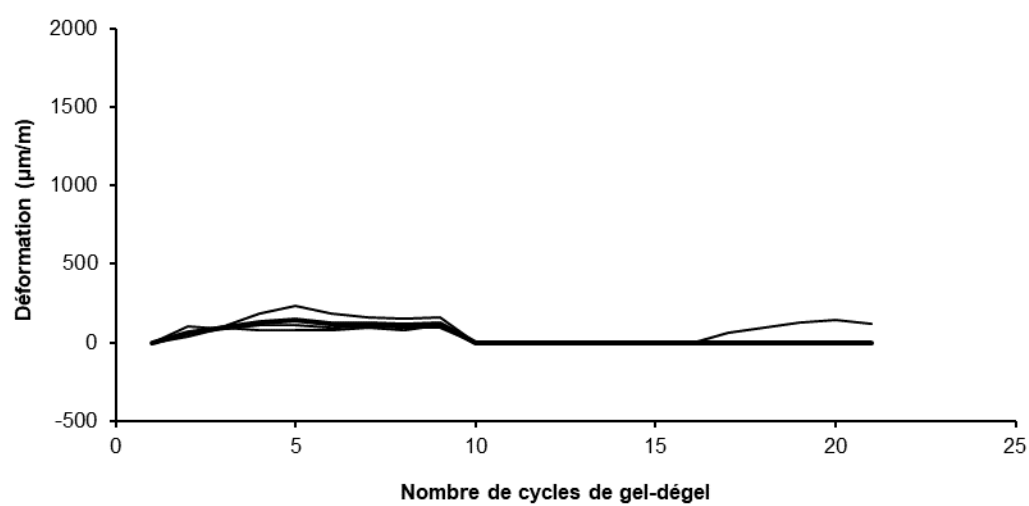
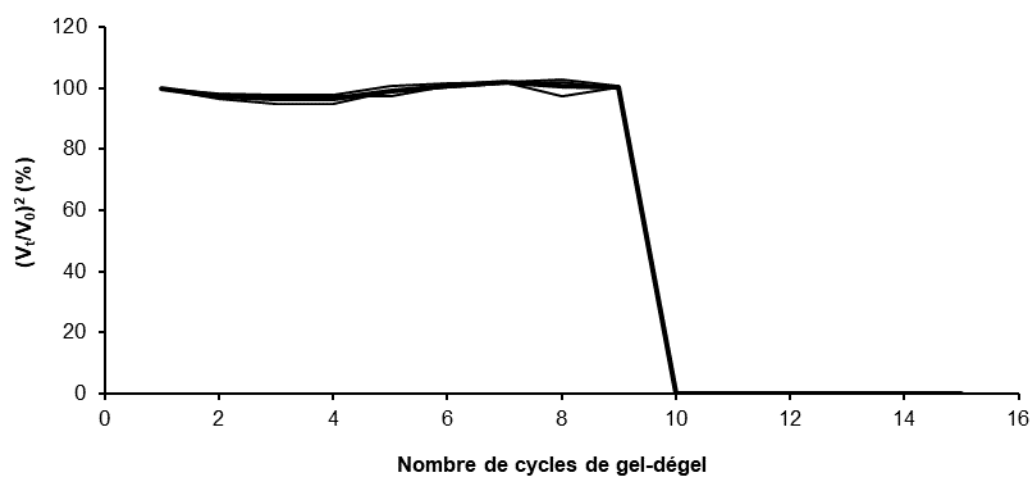
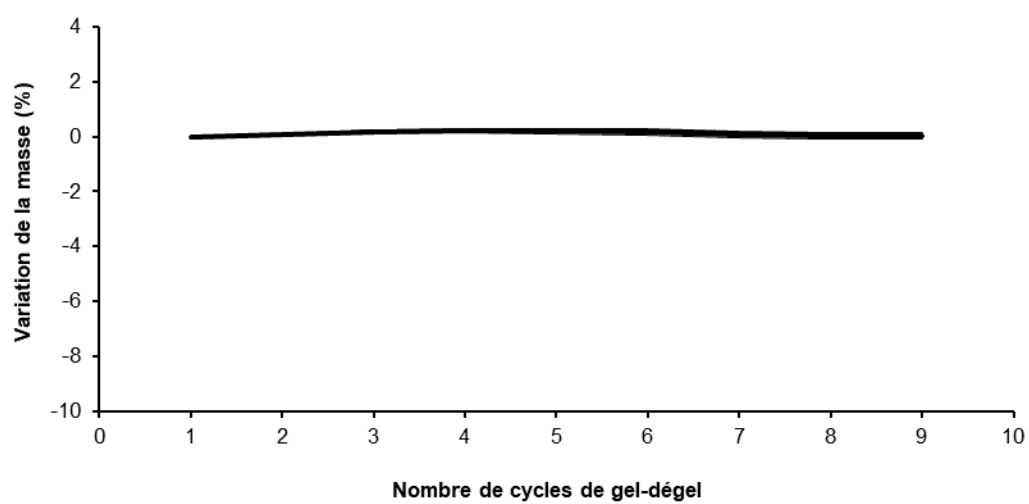


### Durabilité aux cycles de gel-dégel Procédure ASTM C-666 A

Identification du béton : **E212**  
 No du projet : **35% GRB-2**  
 Date de fabrication du béton : **19-05-2016**

Nombre de cycles	Variation de la masse (%)				$(V_t/V_0)^2$ (%)				Déformation ( $\mu\text{m/m}$ )			
	P1	P2	P3	Moy	P1	P2	P3	Moy	P1	P2	P3	Moy
<b>0</b>	0	0	0	<b>0</b>	100	100	100	<b>100</b>	0	0	0	<b>0</b>
<b>25</b>	0,1	0,1	0,1	<b>0,1</b>	97	98	96	<b>97</b>	52	40	100	<b>64</b>
<b>68</b>	0,2	0,2	0,1	<b>0,2</b>	97	98	95	<b>97</b>	104	96	88	<b>96</b>
<b>113</b>	0,3	0,2	0,1	<b>0,2</b>	97	98	95	<b>97</b>	184	80	108	<b>124</b>
<b>149</b>	0,3	0,3	0,1	<b>0,2</b>	97	101	99	<b>99</b>	232	80	108	<b>140</b>
<b>199</b>	0,2	0,2	0,0	<b>0,1</b>	101	102	100	<b>101</b>	180	80	96	<b>119</b>
<b>230</b>	0,2	0,1	0,0	<b>0,1</b>	102	102	102	<b>102</b>	156	96	104	<b>119</b>
<b>265</b>	0,1	0,1	-0,1	<b>0,0</b>	97	103	102	<b>101</b>	148	80	96	<b>108</b>
<b>304</b>	0,1	0,0	-0,1	<b>0,0</b>	100	101	100	<b>100</b>	156	112	92	<b>120</b>

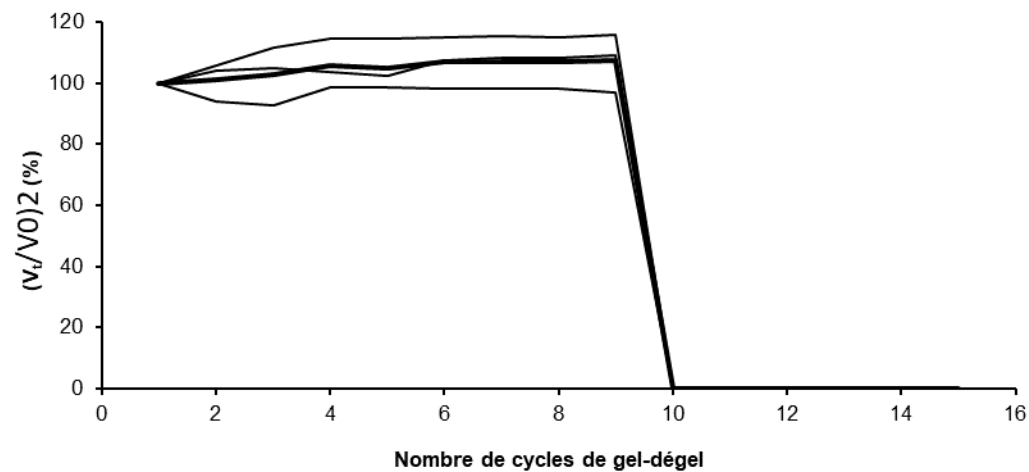
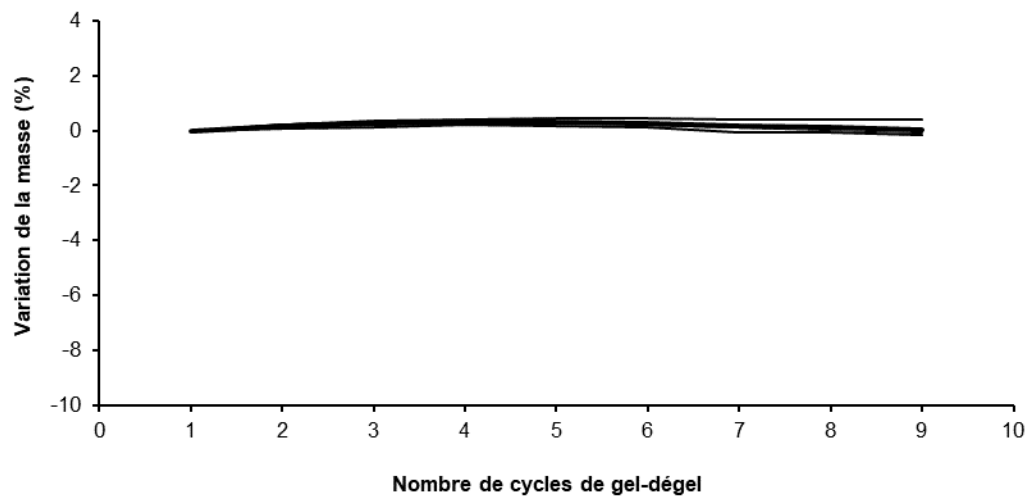


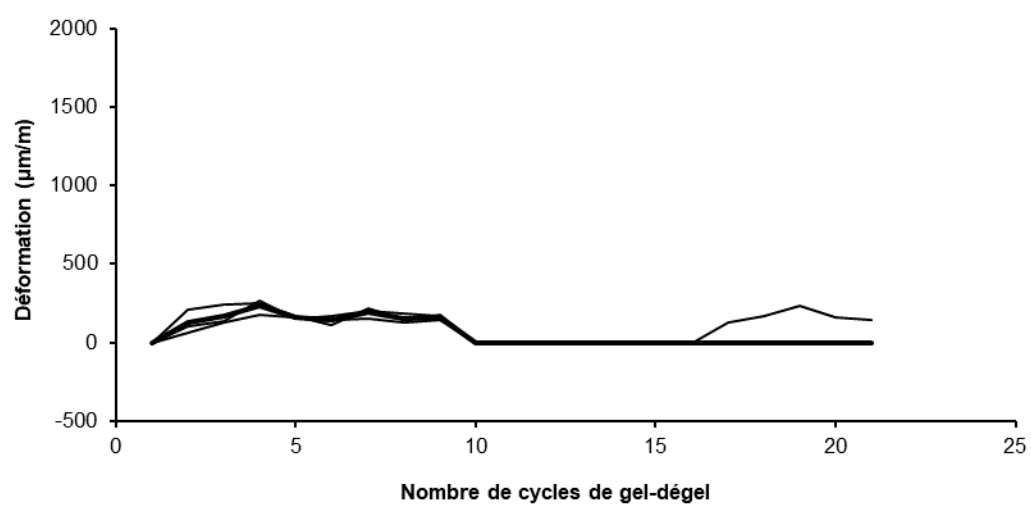


### Durabilité aux cycles de gel-dégel Procédure ASTM C-666 A

Identification du béton : **E212**  
 No du projet : **35%GRRB**  
 Date de fabrication du béton : **17-05-2016**

Nombre de cycles	Variation de la masse (%)				$(V_t/V_0)^2$ (%)				Déformation ( $\mu\text{m/m}$ )			
	P1	P2	P3	Moy	P1	P2	P3	Moy	P1	P2	P3	Moy
<b>0</b>	0	0	0	<b>0</b>	100	100	100	<b>100</b>	0	0	0	<b>0</b>
<b>35</b>	0,2	0,1	0,2	<b>0,2</b>	106	94	104	<b>101</b>	60	208	100	<b>123</b>
<b>78</b>	0,3	0,1	0,3	<b>0,3</b>	111	93	105	<b>103</b>	128	240	136	<b>168</b>
<b>123</b>	0,4	0,2	0,4	<b>0,3</b>	115	98	104	<b>106</b>	172	248	268	<b>229</b>
<b>159</b>	0,5	0,2	0,3	<b>0,3</b>	114	98	102	<b>105</b>	156	164	148	<b>156</b>
<b>209</b>	0,5	0,1	0,2	<b>0,3</b>	115	98	107	<b>107</b>	144	108	168	<b>140</b>
<b>240</b>	0,4	-0,1	0,1	<b>0,1</b>	115	98	108	<b>107</b>	148	216	204	<b>189</b>
<b>275</b>	0,4	-0,1	0,0	<b>0,1</b>	115	98	108	<b>107</b>	124	144	180	<b>149</b>
<b>314</b>	0,4	-0,1	-0,1	<b>0,0</b>	116	97	109	<b>107</b>	140	172	168	<b>160</b>







## LISTE DES RÉFÉRENCES

- AASHTO - Iowa. (2011). Recycled aggregate survey answers. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Retrieved from <http://research.transportation.org/Pages/RACSurveyResults.aspx>
- Agrela, F., Sánchez De Juan, M., Ayuso, J., Geraldés, V. L., & Jiménez, J. R. (2011). Limiting properties in the characterisation of mixed recycled aggregates for use in the manufacture of concrete. *Construction and Building Materials*, 25(10), 3950–3955. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.027>
- Barbudo, A., De Brito, J., Evangelista, L., Bravo, M., & Agrela, F. (2013). Influence of water-reducing admixtures on the mechanical performance of recycled concrete. *Journal of Cleaner Production*, 59, 93–98. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.022>
- Behera, M., Bhattacharyya, S. K., Minocha, a. K., Deoliya, R., & Maiti, S. (2014). Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete - A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. *Construction and Building Materials*, 68, 501–516. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.003>
- Boulay, V. (2014). Valorisation des matériaux granulaires recyclés dans le béton de ciment pour usage résidentiel. Université de Sherbrooke.
- Bravo, M., de Brito, J., Pontes, J., & Evangelista, L. (2015). Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants. *Journal of Cleaner Production*, 99, 59–74. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.012>
- Butler, L., West, J. S., & Tighe, S. L. (2011). The effect of recycled concrete aggregate properties on the bond strength between RCA concrete and steel reinforcement. *Cement and Concrete Research*, 41(10), 1037–1049. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.06.004>
- Chakradhara Rao, M., Bhattacharyya, S. K., & Barai, S. V. (2011). Behaviour of recycled aggregate concrete under drop weight impact load. *Construction and Building Materials*, 25(1), 69–80. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.055>
- Corinaldesi, V. (2010). Mechanical and elastic behaviour of concretes made of recycled-concrete coarse aggregates. *Construction and Building Materials*, 24(9), 1616–1620. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.031>
- De Brito, J., & Robles, R. (2010). Recycled aggregate concrete (RAC) methodology for estimating its long-term properties. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 17(6), 449–462.

- De Juan, M. S., & Gutiérrez, P. A. (2009). Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, 23(2), 872–877. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.04.012>
- Djerbi, T. (2012). Determining the water absorption of recycled aggregates utilizing hydrostatic weighing approach, *Construction and Building Materials*, 27 1, 112– 116.
- De Pauw, C. (2002). Possibilités d'utilisation des matériaux recyclés dans le secteur de la construction - Recyhouse.
- Etxeberria, M., Mari, a. R., & Vázquez, E. (2007). Recycled aggregate concrete as structural material. *Materials and Structures*, 40(5), 529–541. <http://doi.org/10.1617/s11527-006-9161-5>
- Etxeberria, M., Vázquez, E., Mari, a., & Barra, M. (2007). Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, 37(5), 735–742. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.02.002>
- Eurostat, environment and energy. (2010). Generation and Treatment of Waste. Retrieved May 18, 2014, from <http://ec.europa.eu/eurostat/>
- Evangelista, L., & de Brito, J. (2007). Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 29(5), 397–401. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.004>
- Evangelista, L., & de Brito, J. (2010). Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 32(1), 9–14. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.09.005>
- Evangelista, L., & de Brito, J. (2014). Concrete with fine recycled aggregates: a review. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 18(2), 129–172. <http://doi.org/10.1080/19648189.2013.851038>
- Fonseca, N., De Brito, J., & Evangelista, L. (2011). The influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete made with recycled concrete waste. *Cement and Concrete Composites*, 33(6), 637–643. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.04.002>
- Gomes, M., & Brito, J. (2009). Structural concrete with incorporation of coarse recycled concrete and ceramic aggregates: durability performance. *Materials and Structures*, 42(5), 663–675. <http://doi.org/10.1617/s11527-008-9411-9>
- González-Fonteboá, B., & Martínez-Abella, F. (2008). Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume. *Materials and mechanical properties. Building and Environment*, 43(4), 429–437. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.008>

- 
- Hover, K. C. (2011). The influence of water on the performance of concrete. *Construction and Building Materials*, 25(7), 3003–3013. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.01.010>
  - Koenders, E. a B., Pepe, M., & Martinelli, E. (2014). Compressive strength and hydration processes of concrete with recycled aggregates. *Cement and Concrete Research*, 56, 203–212. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.11.012>
  - Kosmatka, S. H., & Wilson, M. L. (2011). *Dosage et Contrôle des Mélanges de Béton* (15ème ed.). Ottawa, Ontario, Canada: Association Canadienne du Ciment.
  - Kou, S. C., & Poon, C. S. (2012). Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregate. *Construction and Building Materials*, 35, 69–76. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.032>
  - Levy, S. M., & Helene, P. (2004). Durability of recycled aggregates concrete: A safe way to sustainable development. *Cement and Concrete Research*, 34(11), 1975–1980. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.02.009>
  - López-Gayarre, F., Serna, P., Domingo-Cabo, a., Serrano-López, M. a., & López-Colina, C. (2009). Influence of recycled aggregate quality and proportioning criteria on recycled concrete properties. *Waste Management*, 29(12), 3022–3028. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.07.010>
  - Marí, a., Etxeberria, M., & Vázquez, E. (2006). Microstructure analysis of hardened recycled aggregate concrete. *Magazine of Concrete Research*, 58(10), 683–690. <http://doi.org/10.1680/mac.2006.58.10.683>
  - Marquis, B., Bergeron, G., & La Fontaine, P. (1998). *Matériaux recyclés dans les chaussées* - Ministère des Transports du Québec (Vol. 3).
  - Martínez-Lage, I., Martínez-Abella, F., Vázquez-Herrero, C., & Pérez-Ordóñez., J. L. (2012). Properties of plain concrete made with mixed recycled coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, 37, 171–176. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.045>
  - Mas, B., Cladera, A., Bestard, J., Muntaner, D., López, C. E., Piña, S., & Prades, J. (2012). Concrete with mixed recycled aggregates: Influence of the type of cement. *Construction and Building Materials*, 34, 430–441. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.092>
  - Mas, B., Cladera, A., Olmo, T. Del, & Pitarch, F. (2012). Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use. *Construction and Building Materials*, 27(1), 612–622. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.073>
  - Matias, D., De Brito, J., Rosa, a., & Pedro, D. (2013). Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates - Influence of the use of superplasticizers.

- Construction and Building Materials, 44, 101–109. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.011>
- Medina, C., Sánchez De Rojas, M. I., & Frías, M. (2013). Properties of recycled ceramic aggregate concretes: Water resistance. *Cement and Concrete Composites*, 40, 21–29. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.04.005>
  - Medina, C., Zhu, W., Howind, T., Sánchez De Rojas, M. I., & Frías, M. (2014). Influence of mixed recycled aggregate on the physical-mechanical properties of recycled concrete. *Journal of Cleaner Production*, 68, 216–225. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.002>
  - Otsuki, N., Miyazato, S., & Yodsudjai, W. (2003). Influence of Recycled Aggregate on Interfacial Transition Zone, Strength, Chloride Penetration and Carbonation of Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15(5), 443–451. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2003\)15:5\(443\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2003)15:5(443))
  - Papadakis, V. G. (2000). Effect of supplementary cementing materials on concrete resistance against carbonation and chloride ingress. *Cement and Concrete Research*, 30(2), 291–299. [http://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00249-5](http://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00249-5)
  - Pereira, P., Evangelista, L., & De Brito, J. (2012). The effect of superplasticisers on the workability and compressive strength of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 28(1), 722–729. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.050>
  - Poon, C. S., Kou, S. C., & Lam, L. (2007). Influence of recycled aggregate on slump and bleeding of fresh concrete. *Materials and Structures*, 40(9), 981–988. <http://doi.org/10.1617/s11527-006-9192-y>
  - Poon, C. S., Shui, Z. H., & Lam, L. (2004). Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 18(6), 461–468. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.03.005>
  - Rao, A., Jha, K. N., & Misra, S. (2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 50(1), 71–81. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.05.010>
  - Saravana Kumar, P., & Dhinakaran, G. (2012). Effect of Admixed Recycled Aggregate on Properties of Fresh and Hardened Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering* ASCE, 24(April), 494–498. Retrieved from <http://www.scientific.net/AMM.174-177.743>
  - Tam, V. W. Y., Gao, X. F., & Tam, C. M. (2005). Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. *Cement and Concrete Research*, 35(6), 1195–1203. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.025>



- 
- Tam, V. W. Y., & Tam, C. M. (2008). Diversifying two-stage mixing approach (TSMA) for recycled aggregate concrete: TSMA<sub>s</sub> and TSMA<sub>sc</sub>. *Construction and Building Materials*, 22(10), 2068–2077. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.07.024>
  - Tam, V. W. Y., Tam, C. M., & Wang, Y. (2007). Optimization on proportion for recycled aggregate in concrete using two-stage mixing approach. *Construction and Building Materials*, 21(10), 1928–1939. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.040>
  - Thomas, C., Setién, J., Polanco, J. a., Alaejos, P., & Sánchez De Juan, M. (2013). Durability of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 40, 1054–1065. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.106>
  - Xiao, J., Lu, D., & Ying, J. (2013). Durability of Recycled Aggregate Concrete: An Overview. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 11(12), 347–359. <http://doi.org/10.3151/jact.11.347>
  - Zaharieva, R., Buyle-Bodin, F., Skoczylas, F., & Wirquin, E. (2003). Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 25(2), 223–232. [http://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00010-0](http://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00010-0)
  - Zakaria, M., & Cabrera, J. G. (1996). Performance and durability of concrete made with demolition waste and artificial fly ash-clay aggregates. *Waste Management*, 16(1-3), 151–158. [http://doi.org/10.1016/S0956-053X\(96\)00038-4](http://doi.org/10.1016/S0956-053X(96)00038-4)